

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Konstrukce a řízení UAV typu křídlo

Construction and Control of Wing Type UAV

Student:

Bc. Michal Pernica

Vedoucí diplomové práce:

Ing. František Martinec, CSc.

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Pernica**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie  
Specializace: 40 Letecká doprava  
Téma: **Konstrukce a řízení UAV typu křídlo**  
**Construction and Control of Wing Type UAV**

Zásady pro vypracování:

1. Analýza konstrukčního řešení řízení UAV typu křídlo s elektropohonem
2. Návrh a výběr metody řízení UAV typu křídlo s elektropohonem
3. Návrh a částečná realizace řízení UAV

Seznam doporučené odborné literatury:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned\\_aerial\\_vehicle](http://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle)

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. František Martinec, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

---

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.  
*vedoucí katedry*

---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
*děkan fakulty*

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

Bc. Michal Pernica

Řadová 12

Ostrava-Výškovice

700 30

Česká republika

## **Anotace diplomové práce**

PERNICA, M. Konstrukce a řízení UAV typu křídlo: diplomová práce. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2012, 76 s. Vedoucí práce: Martinec, F.

Diplomová práce se zabývá problematikou konstrukce a řízení bezpilotního letounu typu křídlo. V úvodu jsou popsány konstrukce a systémy řízení pro letouny typu křídlo. Dále je provedena analýza současných možností řízení a komponent pro stavbu systému řízení. Poznatky z analýzy jsou využity pro tvorbu metod řízení pro různé konstrukce letounu. Z těchto metod byla vybrána jedna pro realizaci. Realizací bylo ověřeno, zda tato metoda je vhodná pro danou konstrukci letounu. Metodu lze využít pro řízení bezpilotního letounu. Je nutné pokračovat ve vývoji pro zlepšení výkonu této metody.

## **Annotation of masters thesis**

PERNICA, M. Construction and Control of Wing Type UAV: masters thesis. Ostrava: VŠB-Technical university of Ostrava, Faculty of mechanical engineering, Institute of transport, 2012, 76 p. Thesis head: Martinec, F.

Masters thesis is dealing with problems about construction and control of wing type unmanned aerial vehicle. In the introduction there are described constructions and control systems of wing type aircraft. Next part analyses the methods of control and components of these methods. Knowledge from this analysis are used for creation control methods for different types of construction. From these methods was chosen one for realization. This method was verified if it is suitable for this wing type construction. Method is suitable for control unmanned vehicle. It is necessary to continue in the development for increase the performance of this method.

# Obsah

Seznam zkratk .....	8
1. Úvod .....	9
1.1. Cíle práce .....	10
1.2. Představení pojmu bezpilotní letoun (UAV).....	11
2. Analýza konstrukčního řešení řízení bezpilotního letounu typu křídlo.....	12
2.1. Profil křídla .....	12
2.1.1. Autostabilní profil křídla.....	12
2.1.2. Kroucení křídla.....	12
2.2. Serva .....	13
2.2.1. Rozdělení podle velikosti/hmotnosti .....	14
2.2.2. Konstrukční provedení serv .....	14
2.2.3. Analogové vs. digitální serva .....	15
2.3. Gyroskopy.....	20
2.3.1. Piezo-gyroskopický senzor .....	20
2.3.2. Pracovní režimy gyroskopu .....	22
2.3.3. Nastavení zisku gyroskopu .....	23
2.4. Táhlá .....	25
2.5. Regulátory .....	25
2.6. Přijímače.....	27
2.6.1. Pulsně polohová modulace (PPM) .....	27
2.6.2. Pulsně kódová modulace (PCM).....	28
2.6.3. Digitální spektrální modulace (DSM).....	29
2.7. Pohonné jednotky .....	30
2.8. Akumulátory .....	31
2.9. FPV systém .....	32
2.10. Telemetrické systémy.....	33
3. Návrh metody řízení.....	35
3.1. Řízení pomocí elevonů bez možnosti vertikálního vzletu .....	35
3.1.1. Pohonné jednotky .....	37
3.1.2. Řízení ploch .....	38
3.1.3. Prvky pro stabilizaci letu.....	39
3.1.4. Přijímač.....	41
3.1.5. Ekonomický přehled .....	44

3.2.	Řízení pomocí elevonů s možností vertikálního vzletu .....	46
3.2.1.	Pohonné jednotky .....	46
3.2.2.	Řízení ploch .....	50
3.2.3.	Stabilizace letu .....	51
3.2.4.	Přijímač.....	53
3.2.5.	Popis řízení systému .....	54
3.2.6.	Telemetrické údaje.....	55
3.2.7.	Ekonomický přehled.....	57
3.3.	Řízení pomocí motorů s možností vertikálního vzletu .....	60
3.3.1.	Pohonné jednotky .....	61
3.3.2.	Ovládání letounu .....	63
3.4.	Stabilizace letu .....	65
3.5.	Přijímač.....	66
3.5.1.	Popis řízení letounu.....	67
3.5.2.	Ekonomický přehled.....	68
4.	Realizace projektu .....	70
4.1.	Představení výsledku.....	70
4.2.	Popis funkčnosti .....	72
5.	Zhodnocení cílů .....	74
6.	Závěr.....	75
	Poděkování.....	76
	Seznam použité literatury .....	77

## Seznam zkratek

<b>Zkratka</b>	<b>Anglický význam</b>	<b>Český význam</b>
UAV	unmanned aerial vehicle	bezpilotní letoun
UAS	unmanned aerial system	bezpilotní systém
EPP	expanded polypropylene	expandovaný polypropylen
VTOL	vertical take-off and landing	vertikální vzlet a přistání
FPV	first person view	pohled z první osoby
MKO	-	monostabilní klopný obvod
ADC	analog to digital converter	analogově-digitální převodník
AVCS	angular vector control system	systém kontroly úhlového vektoru
BEC	battery eliminator circuit	stabilizátor napětí
PCO	power cut-off	odpojovač napětí
PPM	pulse position modulation	pulsně-polohová modulace
PCM	pulse code modulation	pulsně-kódová modulace
DSM	digital spectrum modulation	digitálně spektrální modulace
FHSS	frequency hopping spread spectrum	frekvenční přeskok v rozprostřeném spektru
DSSS	direct sequence spread spectrum	přímé rozprostření spektra
LiPol	Lithium-polymer	Lithium polymer
LiFe	Lithium ferit	Lithium železo
NiMH	Nickle metal hydrid	Nikl metal hydrid
AC	Alternate curent	Střídavý proud
DC	direct curent	Stejnoseměrný proud
LCD	Liquid crystal diode	Tekuté krystaly
OSD	On screen display	Zobrazení dat na obrazovce
GPS	Global position system	Globální poziční systém
PC	Personal computer	Osobní počítač
RC	Radio control	Rádiové řízení



## **1. Úvod**

Jako student Fakulty strojní, Institutu dopravy se zaměřením na Leteckou dopravu, jsem si pro svou závěrečnou práci magisterského studia vybral téma Konstrukce a řízení UAV typu křídlo. Toto téma je v dnešní době velmi zajímavou oblastí, která není momentálně příliš rozšířená. Hlavními body této práce, kterými se budu zabývat, jsou analýza konstrukčního řešení řízení UAV s elektromotorem. Dalším bodem je návrh a výběr metody pro řízení UAV typu křídlo. Posledním z bodů je návrh a částečná realizace řízení UAV. V závěru pak subjektivně zhodnotím přínos a dosažené výsledky jednotlivých úkolů a zhodnotím i práci jako celek.

## **1.1.Cíle práce**

Základním cílem, ke kterému budu směřovat, je realizace mnou navržené metody řízení pro UAV typu křídlo. V práci se budu věnovat stručné analýze dnešních možností pro řízení samokřídla jak pomocí klasické pilotáže, tak i jako autonomního systému. Mezi dílčí cíle bych zařadil popis metod řízení pro různé konstrukce křídla a výběr vhodných komponent pro jednotlivé metody. U každé metody také zvážím ekonomické aspekty jednotlivých řešení. Jedním z posledních bodů zadání je realizace projektu. U tohoto bodu bych rád přímo aplikovat znalosti a postřehy z analýzy a návrhu metod a vytvořil tak funkční elektronickou soustavu pro řízení samokřídla. V ideálním případě bude možné implementovat řídicí soustavu přímo do jedné z konstrukcí a vytvořit tak plně funkční UAV typu křídlo.

## **1.2.Představení pojmu bezpilotní letoun (UAV)**

Pojem UAV je akronym anglického výrazu Unmanned aerial vehicle, což v překladu znamená bezpilotní letoun. Jak již název napovídá, jedná se o létající prostředek, na jehož palubě není přítomen pilot a je možné jej řídit distančně. Takovýto prostředek pak může být rozdělen podle typu řízení na 2 základní segmenty:

I. dálkově řízený prostředek pomocí operátora na zemi

II. autonomně řízený prostředek podle předem definovaných parametrů

Bezpilotní letouny řízené operátorem ze země můžeme chápat např. jako klasické rádiem řízené modely letadel, kdy „modelář“ stojí na zemi a pomocí vysílače přímo zasahuje do řízení modelu.

Na druhou stranu autonomně řízené prostředky si můžeme představit jako modely, kterým na začátku letu naprogramujeme požadované údaje (např. trasu letu) a po jejich vypuštění již do řízení nezasahujeme a tento model pak provádí let autonomně včetně přistání na předem definovaném místě.

## **2. Analýza konstrukčního řešení řízení bezpilotního letounu typu křídlo**

### **2.1.Profil křídla**

Letoun typu křídlo je speciálním typem letouny, kdy konstrukce je koncipována jako samostatné křídlo bez trupu a tím i stabilizačních ocasních ploch. Pro stabilizaci takového křídla se využívají 2 základní principy.

- Autostabilní profil křídla
- Kroucení křídla

#### **2.1.1. Autostabilní profil křídla**

Princip stability u tohoto typu spočívá v přidání resp. implementace výškového kormidla přímo do odtokové hrany křídla. Střední křivka profilu je prohnutá do písmene S, čímž se zásadně liší od klasického profilu. Díky velké ploše „výškovky“ je možné ji použít pro vytvoření kladného klopivého momentu křídla, který vyvažuje základní záporný klopivý moment, který vzniká u klasického profilu.

#### **2.1.2. Kroucení křídla**

Princip kroucení křídla je možné použít pouze u šípovitého křídla. Existují 2 typy kroucení křídla:

- Aerodynamické kroucení
- Geometrické kroucení

Aerodynamické kroucení využívá změny profilu křídla od jeho kořene směrem ke koncům křídel. U kořene křídla je profil klasický a vzniká na něm záporný moment, směrem ke koncům křídel se však profil mění na autostabilní, čímž vzniká kladný moment, který vyvažuje celý model a tím se stává stabilním.

Geometrické kroucení používá v celé délce křídla klasického profilu. Kořen křídla je však nastaven na větší úhel náběhu než konce křídel, čímž vzniká větší vztlaková síla a na rameni velikosti  $a$  vzniká kladný moment, který opět vyrovnává letadlo do stabilního letu.

Pro řízení letounu se u klasické konstrukce využívají 3 základní prvky. Výškové kormidlo pro řízení v podélné ose, směrové kormidlo pro vertikální osu a křídélka pro řízení v příčné

ose letadla. Řízení samokřídla je tvořeno sdruženými křídélky a výškovým kormidlem, které se označují jako elevony.

Další možností řízení křídla je pomocí pohonných jednotek. Zamysleme se nad konstrukcí, která umožňuje vertikální vzlet a přistání (označuje se jako VTOL – vertical take off and landing). Takováto konstrukce musí mít variabilní nastavení motorů, které je možno polohovat. Pokud tedy jsme schopni nastavovat každou pohonnou jednotku zvlášť, udávat jim rozdílný vektor tahu a velikost tohoto vektoru, pak je možné použít tato nastavení pro ovládání směru letu.

V mé diplomové práci se budu zabývat řešením řízení na modelu samokřídla. Model je vyroben z EPP materiálu. Tento materiál je velmi lehký a pevný. Také je jednoduše upravitelný a opravitelný, což mi dává dobrý základ pro vývoj a zkoumání řízení a jeho vlastností. Výrobci modelů z EPP uvádějí, že tyto modely jsou prakticky „nerozbitné“. Tato vlastnost je dle mého mínění jednou z neocenitelných výhod pro vývoj řízení.

Řešení projektu bych chtěl směřovat na autonomní systém řízení letu. Jako součást projektu bych rád zmínil možnosti telemetrických přenosů, které by sloužili pro monitorování průběhu letu a také technologii pro tzv. FPV (first person view) neboli řízení letu z pohledu první osoby. Technologie FPV se v dnešní době hojně rozrůstá i mezi amatérskými modeláři a vývojáři UAS systémů.

Řízení UAV jsem rozdělil podle konstrukčních prvků do několika skupin.

## **2.2.Serva**

Serva nebo přesněji servomotory jsou pro řízení křídla nezbytnou součástí, která zajišťuje potřebnou hybnou sílu pro ovládání řídicích ploch. V dnešní době je na trhu velké množství různých serv, která se liší:

- velikostí
- hmotností
- konstrukčním provedením
- rychlostí reakcí
- a tažnou silou motoru serva

Pro výběr správného servomotoru je třeba brát v úvahu hlavně hmotnost, velikost a tažnou sílu. Tyto vlastnosti musíme volit na základě velikosti křídla, vzletové hmotnosti, velikosti řídicích ploch a rychlosti letu křídla.

Analýzou trhu jsem dospěl k následujícímu rozdělení, které však nepojímá veškeré možnosti nabízené trhem. Zaměřuje se na prvky, které je možné a pravděpodobně také vhodné použít pro letoun, který bych rád později realizoval.

### **2.2.1. Rozdělení podle velikosti/hmotnosti**

- mikro
- mini
- standart

#### **Mikro-serva**

Velikost: cca 20x20x11mm

Hmotnost: cca 10-15g

Krouticí moment: cca 10-35 Ncm<sup>-1</sup>

Rychlost tranzitu: cca 0,05-0,16s

#### **Mini-serva**

Velikost: cca 35x35x15mm

Hmotnost: cca 25-80g

Krouticí moment: cca 26-300 Ncm<sup>-1</sup>

Rychlost tranzitu: cca 0,07-0,15s

#### **Standardní serva**

Velikost: cca 40x40x20mm

Hmotnost: cca 40-80g

Krouticí moment: cca 50-350 Ncm<sup>-1</sup>

Rychlost tranzitu: cca 0,05-0,18s

### **2.2.2. Konstrukční provedení serv**

#### **Serva se stejnosměrnými motory**

Nejpoužívanější a nejrozšířenější serva, která mají klasický stejnosměrný motor se třemi nebo pěti vinutími. Výhodou těchto serv je jejich nízká cena a vysoká odolnost. Mezi

nevýhody patří pomalejší reakční doba. Nižší rychlost serv je způsobena konstrukcí rotoru, který obsahuje těžké ocelové jádro.

### **Coreless serva**

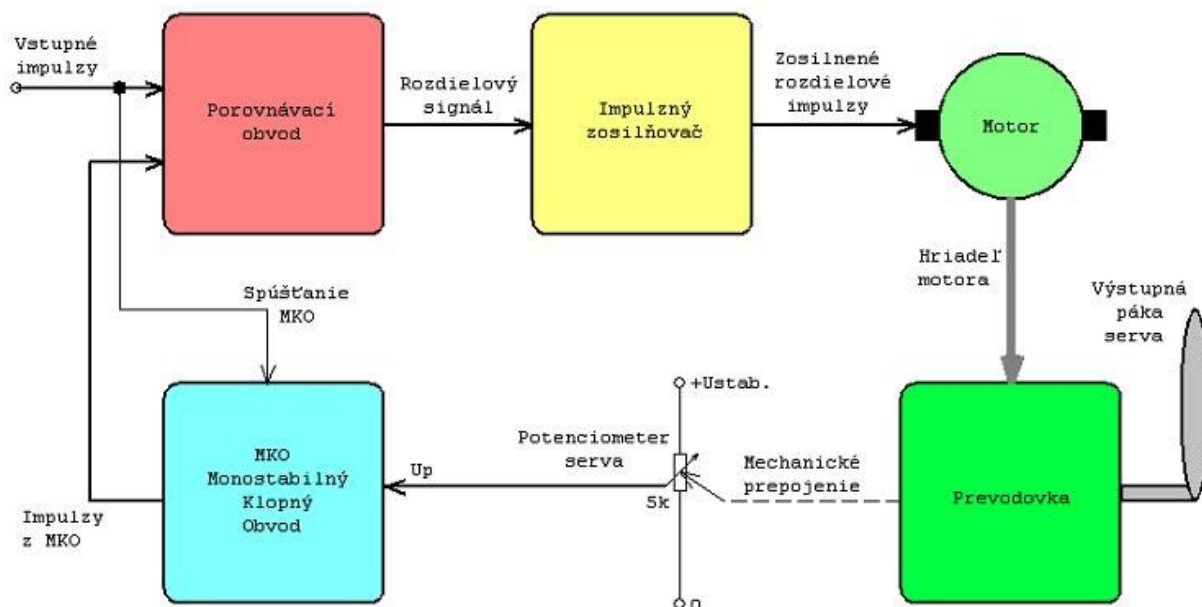
Můžeme se setkat také s označením bezkotvové, což je nový typ konstrukce motoru, kdy rotor neobsahuje žádné železné části a vinutí jsou tak namotány na plastové jádro. Možnost většího vinutí dává těmto motorům větší točivý moment. Absencí těžkých kovových kotev se sníží hmotnost celého rotoru, což přináší lepší vlastnosti. Toto provedení umožňuje zvýšit účinnost motoru a tím potažmo i rychlost reakcí serva. Při nižší hmotnosti rotoru je tak jednodušší roztočení i zastavení motoru. Nevýhodou těchto motorů je menší spolehlivost a životnost stejně jako vyšší výrobní cena.

### **Serva se střídavými motory**

Často jsou tato serva označována jako „Brushless“ serva. Označení napovídá, že se jedná o bezkartáčové provedení motoru. Rotor motoru je jediná rotující část. Díky střídavému napětí nepotřebuje pro svou činnost kartáče, které přepínaly vinutí a které se opotřebovávaly. Tato technologie umožňuje zvýšit spolehlivost motorů a také jejich krouticí moment, čímž se serva stávají silnějšími. Nevýhodou je opět vyšší cena.

#### **2.2.3. Analogové vs. digitální serva**

Základním rozdílem těchto serv je použití odlišných řídicích obvodů. Analogová serva používají pro řízení pohybu porovnání vstupního impulsu z přijímače a impulsu, který je vytvořen v monostabilním klopném obvodu řídicí elektroniky (MKO). Šířka impulsu je dána polohou potenciometru resp. na napětí, které jeho běžec dává a také závisí na časové konstantě RC členu. Tento impuls se poté porovnává v porovnávacím obvodu s impulsy z přijímače a jejich rozdíl se posílá do impulsního zesilovače. Signál, resp. napětí ze zesilovače jde poté přímo do motoru a napájí jej. Pokud jsou impulsy stejné, pak je servo v klidu. Jestliže je rozdíl kladný, točí se motor na jednu stranu, pokud je záporný, tak se točí na stranu druhou. Ve své podstatě se jedná o elektro-mechanickou zápornou zpětnou vazbu, kdy servo se snaží dostat do polohy, kdy rozdíl signálů bude nulový a servo bude moci být v klidu.

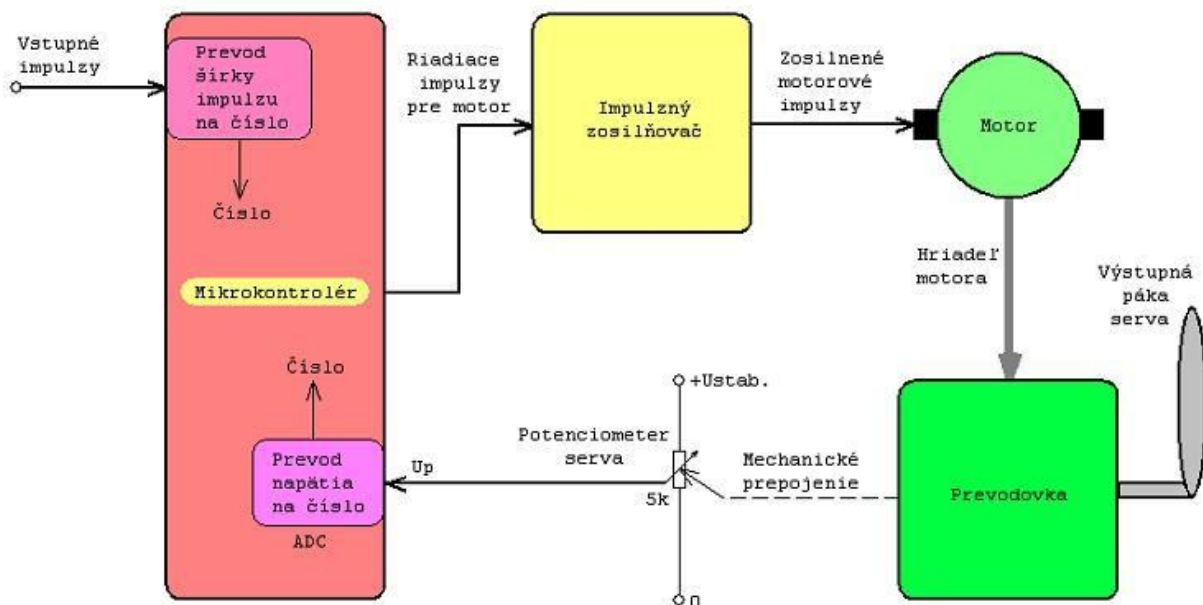


**Bloková schéma klasického analógového serva.**

*Obr. 2. 1 Blokové schéma klasického analogového serva*

Digitální servo používá podobný princip funkce, avšak porovnávání impulsů je trochu odlišné. V elektronice digitálního serva se neobjevují RC (rezistor-kondenzátor) členy ani MKO. Tyto prvky nahrazuje mikrokontrolér, který převádí pomocí ADC (analog to digital converter) signál z přijmače i napětí z potenciometru na čísla (tedy do digitální podoby). Tyto hodnoty opět porovná a vygenerovaný impuls pošle do zesilovače a dále do motoru. Generování tohoto impulsu je však až 5x rychlejší, takže serva dosahují vyšších reakčních rychlostí. Mikrokontrolér je také schopen pracovat s mnohem vyšším počtem kroků než analogový obvod a tím je servo přesnější. Při porovnání síly motoru dojdeme k závěru, že analogové servo je schopné vyvinout maximální sílu až při určité velikosti výchylky, kdežto digitální servo je schopné vyvinout maximální sílu při jakékoliv výchylce, takže digitální servo je navíc i silnější.

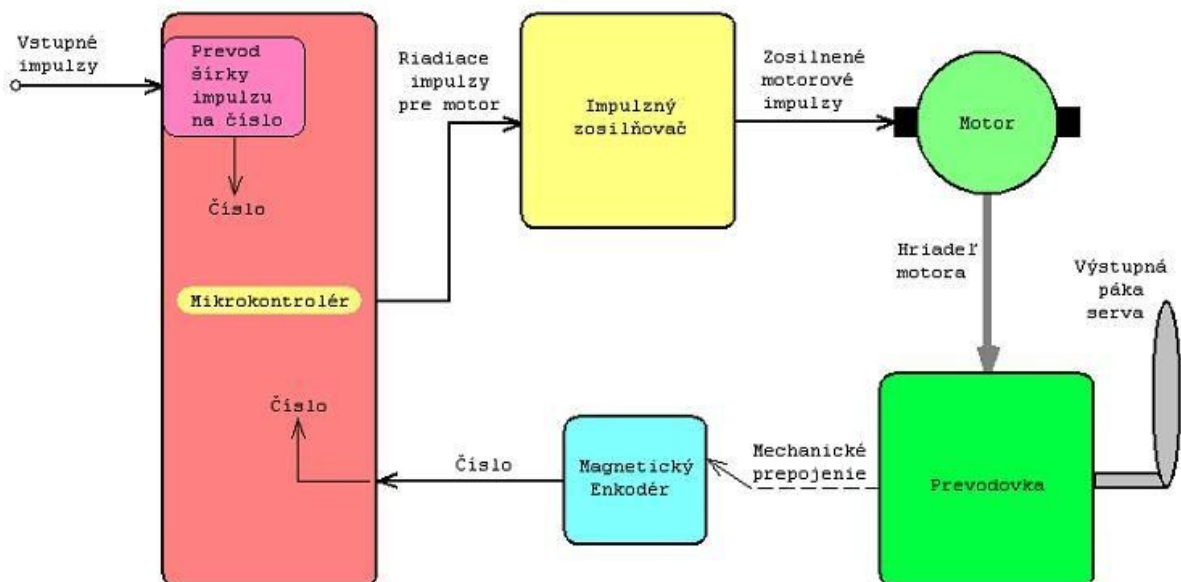




**Bloková schéma digitálneho serva**

*Obr. 2. 2 Blokové schéma digitálneho serva*

U moderných serv se místo potenciometru, který je jednou z nejporuchovějších součástek serva, používá tzv. magnetický enkodér. Jedná se o elektronicko-magnetickou součástku, která využívá natočení magnetu vůči integrovanému obvodu pro generování digitálního impulsu. Výhodou této součástky je její životnost a spolehlivost, kdy nedochází k tzv. vyběhání potenciometru (mechanickému opotřebení odporových drah).



**Bloková schéma digitálneho serva, kde je potenciometer nahradený magnetickým enkodérom**

*Obr. 2. 3 Blokové schéma digitálneho serva s magnetickým enkodérom*



Obr. 2. 4 Magnetický enkodér uvnitř serva

Z výsledků testů teplotní stability, které jsou zveřejněné na serveru <http://rcmodely.cevaro.sk> jsem vybral tabulku, ve které je přehledně znázorněna odchylka jednotlivých serv od neutrální (klidové) polohy za různých teplot. Z této tabulky jasně vyplývá, že digitální serva jsou teplotně stabilnější než jejich analogoví kolegové.

Servo	Analogové					Digitálně		
Teplota	HXT-93XX	Hitec HS-82MG	HXT-93YY	HX 5010	Hitec HS-81	HXT D-MG16	HD-1810MG	HXT 12K
[st. Celzia]	Odchylka [mm]	Odchylka [mm]	Odchylka [mm]	Odchylka [mm]	Odchylka [mm]	Odchylka [mm]	Odchylka [mm]	Odchylka [mm]
-12	-8	-8	-3	0	0	-1	0	0
7	-4,5	-3	-3	1	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
44	6	-0,5	-1	-2	-1	0	0	0
62	10	-0,5	-1,5	-9	-1	0,5	18	0

Obr. 2. 5 Tabulka teplotní stability serv

Když to shrnu, tak digitální serva oproti analogovým mají:

#### Výhody

- větší možnosti nastavení (lze je programovat)
- rychlejší reakční doba
- vyšší spolehlivost
- silnější

#### Nevýhody

- dražší
- vyšší spotřeba energie

Typ	Výrobce	Hmotnost	Rozměr (mm)	Digi/analog	Brushless Coreless	Rychlost (60°/s)	Síla (kg/cm)	Cena (Kč)
HS-55	Hitec	8 g	Mikro 22,8x11,6x24	Analog	x x	0,17s/60° při 4,8V	1,1	239
RS3117	Futaba	8,5 g	Mikro 21,8x11x23,2	Analog	x x	0.08s/45° při 4,8V	1,5	329
SH-0261MG	Savox	14 g	Mikro 22,8x12x29,4	Digitální	brushless	0.10s/60° při 4,8V	2,2	598
S3153MG	Futaba	9,6 g	Mikro 21,8x11x20,3	Digitální	X x	0,09s/45° při 4,8V	1,4	1140
GWS mini	GWS	24 g	Mini 35x16,9x32	Analog	X x	0,19s/60° při 4,8V	3,4	189
S9650	Futaba	26 g	Mini 35,5x15x28,6	Analog	X x	0,11s/60° při 4,8V	4,5	1900
SH-1350	Savox	26 g	Mini 35,0x15x29,2	Digitální	Coreless	0,11s/60° při 4,8V	4,6	1109
F1387	Futaba	20,4 g	Mini 30x10,8x29	Digitální	X x	0,12s/45° při 4,8V	2	1169
HS 485 HB	Hitec	45 g	Standart 39,8x19,8x38	Analog	X x	0,22s/60° při 4,8V	4,8	379
F 1289	Futaba	55 g	Standart 40.5x20x37,5	Analog	X x	0.14s/45° při 4,8V	9,5	2749
DS 821	Spectrum	42 g	Standart 38x19x37	Digitální	X x	0,19s/60° při 4,8V	5	320
RBS1010HV	Robbe	63 g	Standart 40x20x36.8	Digitální	Brushless	0.09s/45° při 4,8V	8	1859

*Tabulka 2. 1 Srovnávací tabulka vybraných servomotorů*

## 2.3. Gyroskopy

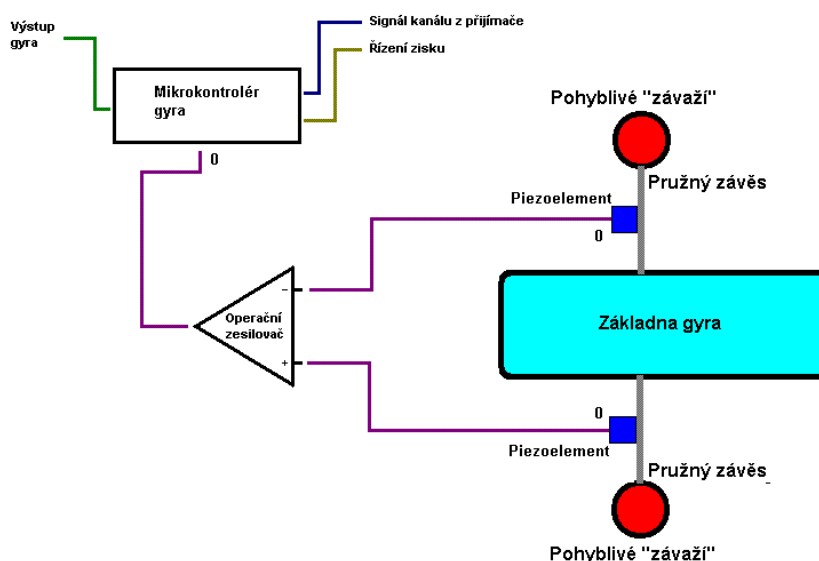
Gyroskop je zařízení, které slouží pro udržování směru v inerciální soustavě. K tomu slouží v klasickém gyroskopu setrvačnick (rotor), který je roztočený na určité otáčky a tím zachovává osu své rotace stále ve stejné poloze. Tím, že jedna osa zůstává stále ve stejné poloze, lze pomocí snímačů jednoduše zjistit, o jaký úhel se celá soustava natočila, dojde-li ke změně polohy gyroskopu.

Klasický gyroskop se používá v letadlech, kde je napájen elektrickým proudem a tím je roztáčen jeho setrvačnick. Tyto gyroskopy jsou však velké, těžké a potřebují velké množství energie, proto je nelze jednoduše použít a implementovat jejich funkci do leteckých modelů a menších zařízení, jako je mnou navrhovaný bezpilotní letoun.

V posledních pár letech se však na trhu objevily tzv. piezo-gyroskopické senzory, které jsou malé, lehké a relativně levné. Díky této technologii se podařilo implementovat gyroskopy i do leteckých modelů, převážně však do modelů vrtulníků. Nejnovějšími typy jsou 3osé gyroskopy.

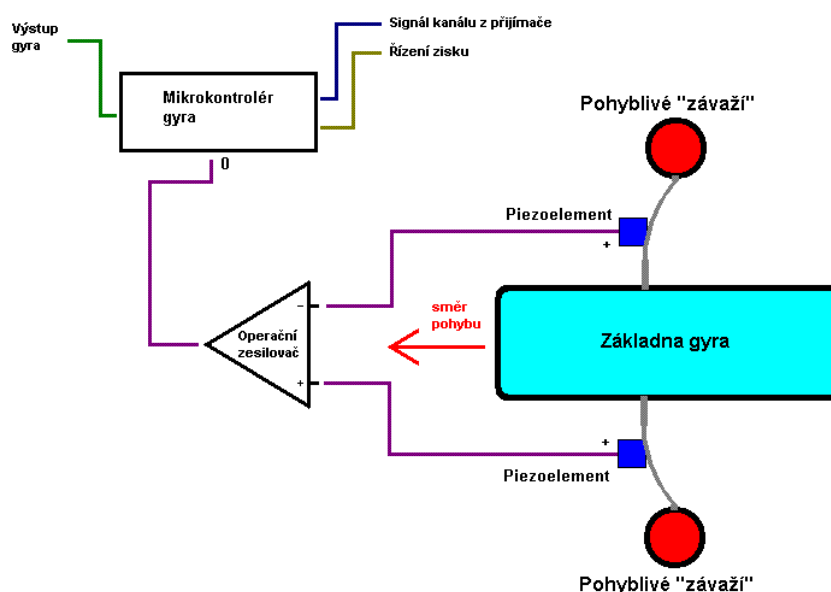
### 2.3.1. Piezo-gyroskopický senzor

Piezo-gyro funguje na podobném principu jako klasické mechanické gyro. Skládá se z mechanické části a elektronické části. Na následujícím obrázku je zobrazeno schéma gyroskopu, který je v klidu. Tento stav nastává po zapnutí gyra a jeho inicializaci.

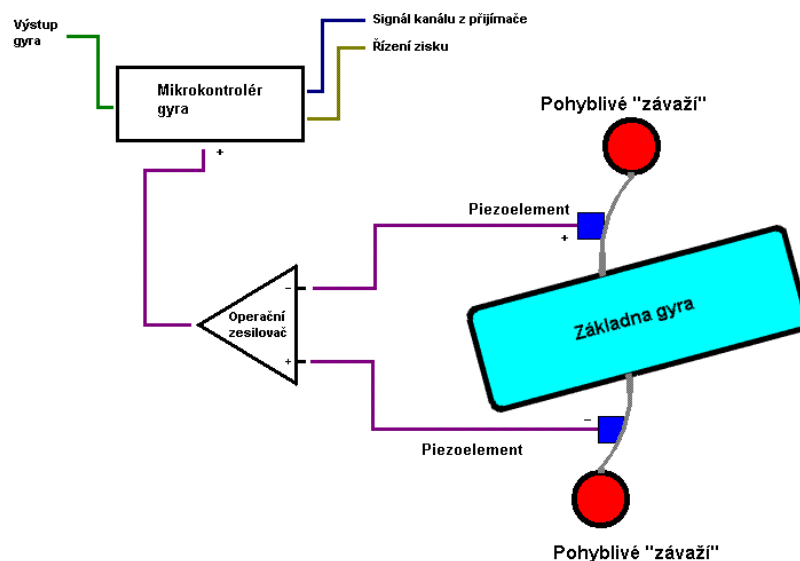


Obr. 2. 6 Schéma gyroskopu v klidu

Mechanická část gyra se skládá z části hmoty (základna gyra), která je zavěšena na pružných elementech. Na těchto elementech jsou pak piezo-snímače, které generují napětí na základě deformace materiálu. Velikost napětí je pak úměrná velikosti deformace tohoto materiálu. Z těchto snímačů jsou signály vedeny do operačního zesilovače a odtud pak dále do mikrokontroléru, který zpracovává výsledný signál. Z gyra poté vystupují vodiče, kterými jsou vedeny výstupy z gyroskopu a vodiče, kterými jsou do gyroskopu přiváděny řídicí signály a také napájení.



Obr. 2. 7 Schéma gyroskopu při pohybu rovně



Obr. 2. 8 Schéma gyroskopu při rotaci

U každého gyroskopu pak lze nastavit míru zisku, nebo také citlivost tohoto gyra. K tomu slouží buď další vodič, který je připojen na přijímač a lze jím tak měnit citlivost dálkově, nebo jsou na gyru potenciometry, kterými se manuálně předem nastaví zisk. Tento zisk pak znamená, jak moc bude gyroskop ovlivňovat signál řízení.

### 2.3.2. Pracovní režimy gyroskopu

Gyroskop pracuje ve dvou základních režimech.

- režim „normal“
- režim AVCS (Angular Vector Control System)

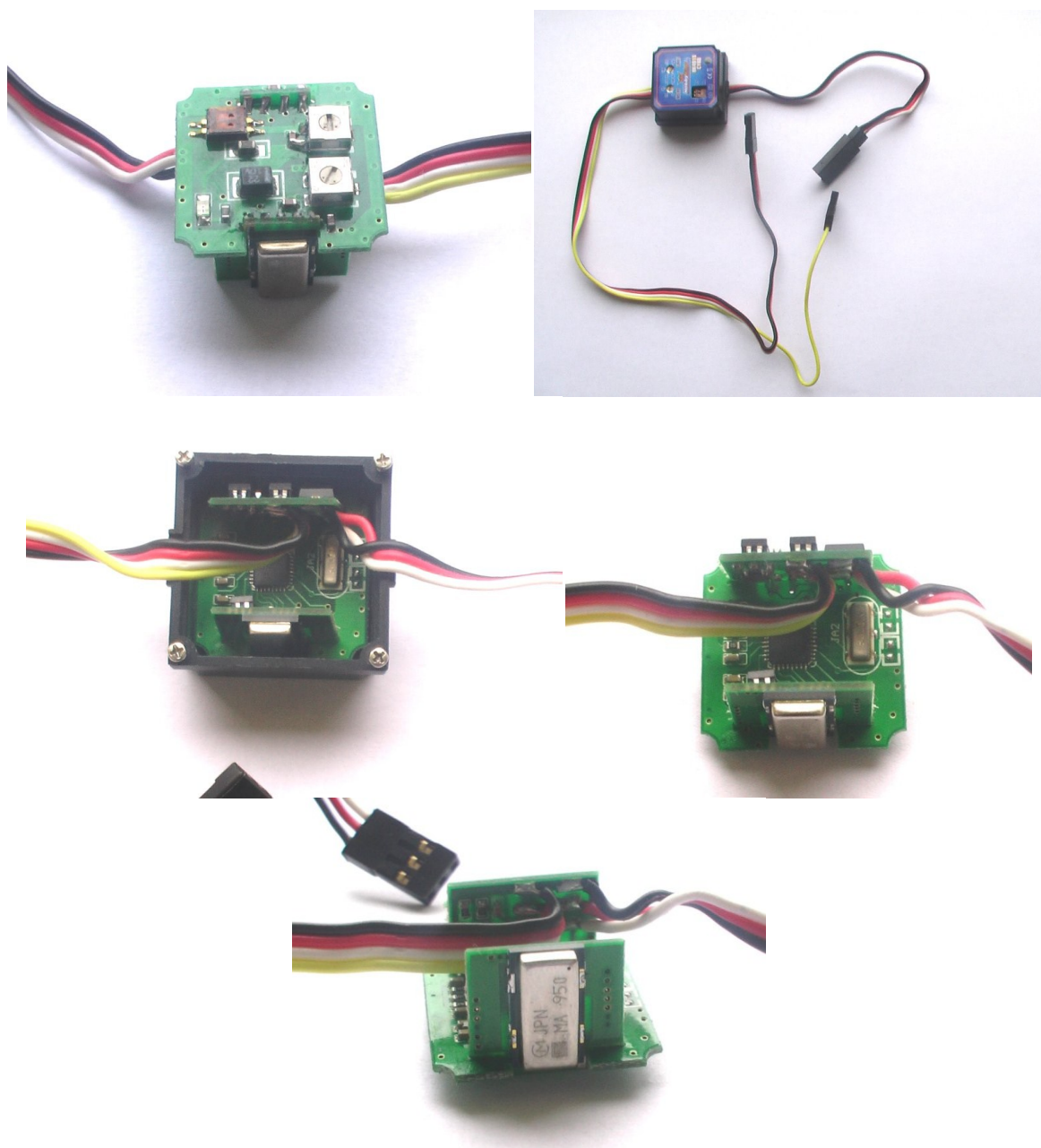
Režim „normal“ je starší režim gyroskopu, který by mělo mít každé gyro. V tomto režimu je velikost korekce gyra přímo úměrná velikosti výchylky, která na gyro působí a korekční impuls trvá pouze po dobu trvání výchylky. Tento režim má však jednu velkou nevýhodu, které se v modelářské praxi říká „větrná korouhev“. V praxi to znamená, že gyro sice koriguje změnu výchylky, ale takovým způsobem, že pouze zastavuje rotaci. Pokud tedy na gyroskop působí nějaká vnější síla (např. vítr), gyro s mírným zpožděním zareaguje a začne působit proti změně, která vyvolala pohyb. Ve chvíli, kdy se rotace zastaví, gyro přestane působit a vnější síla opět vyvine změnu, kterou gyro po chvíli koriguje. Takto se to opakuje, dokud

vnější síla nepůsobí rovnoběžně na osu gyroskopu. Jenže tato změna může mít za následek otočení i o  $90^\circ$  v prostoru.

Tento nežádoucí jev je eliminován režimem AVCS. Gyroskop v tomto režimu působí korekci nejenom po dobu působení vnější síly, ale i poté. Tím je schopné vrátit předmět do původní polohy. Gyroskop si zapamatuje původní vektor směru a při korekci se snaží do tohoto vektoru vrátit zpět. Pokud tedy dojde k vychýlení z původního směru, tak nejenom že gyro zastaví rotaci, ale také generuje řídicí impulzy, pro navrácení do původního směru. V dnešní době je tato funkce u většiny gyroskopů.

### **2.3.3. Nastavení zisku gyroskopu**

Gyroskop funguje jako autostabilizační prvek. Pokud však dáme řídicí impuls z vysílače, může tento impuls kolidovat s impulsy, které generuje gyroskop samotný. Proto je nutné nastavení zisku gyroskopu. V ideálním případě gyro rozpozná vnější zásah do řízení (pokyn z vysílače) a automaticky sníží zisk signálu, takže nebude zasahovat do řízení. Pokud gyro tuto funkci nemá, je nutné nastavení zisku řídit dálkově pomocí vysílače. Většinou se tento zisk řídí tak, že pokud je ovládací páka v neutrální (středové poloze), pak je zisk gyroskopu nejvyšší. Při výchylce páky z neutrální polohy se pak zisk snižuje, až do krajní polohy (maximální výchylka), kdy je zisk gyroskopu nulový a tím tedy nemění řídicí signál z vysílače.



Obr. 2. 9 Vnitřní stavba gyroskopu

Název	Hmotnost (g)	Rozměry (mm)	Napětí (V)	Otáčky (°/s)	Cena (Kč)
HG-5000	10 g	22x22x11	4,5-5,5	-	1900 Kč
G401 Futaba	27 g	27x27x20	3-6	-	2800 Kč
GY520 Futaba	6,9 g	20x20x10	3,8-6	+/- 800	4500 Kč
CGY750 Futaba 3-osé gyro	10 g	21x21x10	3,8-6	+/- 1200	6500 Kč
GY 611 Futaba vč. serva S9256	30 g	30x30x18	3,8-6		9500 Kč

Tabulka 2. 2Srovnávací tabulka gyroskopů



## 2.4. Táhla

Pro přenos sil mezi ovládacími servy a ovládanými plochami (křídélka, výškové kormidlo, směrové kormidlo atd.) je třeba použít vhodnou komponentu, která bude dostatečně pevná, lehká a odolná. Pro tyto přenosy se běžně používají různá táhla. Tyto táhla musí být nejen pevná pro tah, ale také musí být natolik pevná a neohebná, aby se s nimi daly řídicí plochy tlačit. Pro přenos takovýchto sil se používají ve většině případů ocelové dráty. Průměry drátů se liší podle potřeby přenášené síly. Mezi další materiály pro výrobu táhel jsou karbonové (uhlíkové) trubky. Tyto trubky jsou dostatečně lehké a přitom pevné, takže vydrží poměrně velké zatížení od serv a řídicích ploch. Použít lze i dřevěné tyče či hliníkové trubky. U těchto materiálů je však většinou složitější výroba zakončení, které se dá následně použít pro připojení k pákám serv, případně k pákám ovládaných ploch.

Materiál	Průměr	Cena
Ocelový drát	0,3 mm	4 Kč
Ocelový drát	1 mm	10 Kč
Ocelový drát	3 mm	28 Kč
Ocelový drát	6 mm	65 Kč
Uhlíková kulatina	0,6 mm	52 Kč
Uhlíková kulatina	1 mm	23 Kč
Uhlíková kulatina	3 mm	47 Kč
Uhlíková kulatina	6 mm	170 Kč
Hliníková trubka	3/2,1 mm	33 Kč
Hliníková trubka	5/4,15 mm	56 Kč
Hliníková trubka	10/9 mm	62 Kč
Buková kulatina	2 mm	10 Kč
Buková kulatina	3 mm	10 Kč
Buková kulatina	6 mm	12 Kč

Tabulka 2. 3 Srovnávací tabulka táhel

## 2.5. Regulátory

Při použití elektromotoru jako pohonu pro UAV je třeba regulovat otáčky motoru. K tomuto primárně slouží regulátory. Oproti spalovacím motorům je regulace otáček velmi jednoduchá a spolehlivá. Navíc je možné motor jednoduše vypnout a opět zapnout přímo za letu. Regulátory také mají mnoho dalších možností použití a přídavných funkcí.

Jeden z obvodů regulátoru slouží jako stabilizátor napájení. Označuje se jako BEC (Battery eliminator circuit) a umožňuje napájení nejen motoru, ale také napájení např. přijímače a serv z jednoho akumulátoru. Tato funkce eliminuje potřebu použití dalšího akumulátoru pro napájení ostatní elektroniky a snižuje se tím tak hmotnost soustavy.

Funkce „Break“ neboli brzda umožňuje zastavit vrtuli nebo v případě použití u auta brzdění tzv. motorem. U letadel se používá pro zastavení vrtule, kterou je třeba sklopit. V případě, že je vrtule pevná, tak lze tuto funkci vypnout.

Dalším důležitým obvodem je tzv. PCO (power cut-off) pro hlídání stavu baterie, který při poklesu napětí pod nastavenou hodnotu vypne napájení motoru a zabezpečí tak dostatečné napětí pro napájení přijmače a serv pro zachování možnosti ovládání letounu.

Regulátory jsou dále vybaveny ochrannými obvody, které slouží jako pojistky proti přehřátí nebo proudovému přetížení.

Některé regulátory je možné programovat a nastavit tak jejich hodnoty dle potřeby pro konkrétní motor nebo jinou elektroniku.

Základní parametry, které se u regulátorů udávají a kterými se liší, jsou napětí na vstupu, napětí na výstupu BEC, stálý proud, který je možné dodávat motoru a špičkový proud, který regulátor krátkodobě snese. Dnešní regulátory na trhu můžeme dělit podle dvou základních kritérií, které určují jejich použití.

### **Dělení regulátorů dle způsobu ovládání**

- Jednosměrné  
Jednosměrné regulátory se používají pro letecké aplikace, kdy není třeba reverzovat otáčky motoru.
- Obousměrné  
Obousměrné jsou použity v autech a lodích. V těchto aplikacích je potřeba zpětného chodu.

### **Dělení dle typu motoru**

- Stejnosměrné  
Použití pro stejnosměrné motory.
- Střídavé  
Použití pro střídavé motory.

Název	Hmotnost	Proud	Napájení baterií	Napětí	Cena
Foxy Ubec 3A	7 g	3A (max.5A)	2-6S LiPol	5-6 V	199 Kč
RAY R-30B	26 g	30A (max.40A)	2-3S LiPol	Střídavý 5.5 V	379 Kč
Jeti Advance08 PRO	6 g	8A	2-3S LiXX 6-8S NiXX	Střídavý	1280 Kč
Jeti SPIN 44 BEC	44 g	44A	2-6S LiXX 6-18 NiXX	Střídavý 5.5 V	2780 Kč
Jeti Advance 30 PRO	110 g	99A	4-12S LiXX 14-36S NiXX	Střídavý	4500 Kč

Tabulka 2. 4 Srovnávací tabulka regulátorů

## 2.6. Přijímače

Přijímač je základní součást celé elektronické výbavy letounu, jehož základním úkolem je přijímat a zpracovávat řídicí signály z vysílače, které pak dále distribuuje na připojená výkonná zařízení, jako jsou serva, pohonné jednotky atd. Přijímače a vysílače musí vždy pracovat na stejné modulaci. Proto se většinou hovoří o tzv. RC soupravě, která obsahuje jak vysílač, tak i přijímač, které jsou navzájem kompatibilní.

Dříve se používaly modulace AM nebo FM (PPM a PCM modulace). Pro tyto modulace je u nás vyhrazené pásmo 27 MHz, 35 MHz a 40 MHz. V těchto pásmech je povoleno provozovat RC modely. Pásmo 35 MHz je výhradně použito pro provoz leteckých konstrukcí, pokud je v tomto pásmu používáno jiné zařízení (např. auto, loď) jedná se o nelegální činnost a hrozí v tomto případě postih většinou ve formě peněžní sankce.

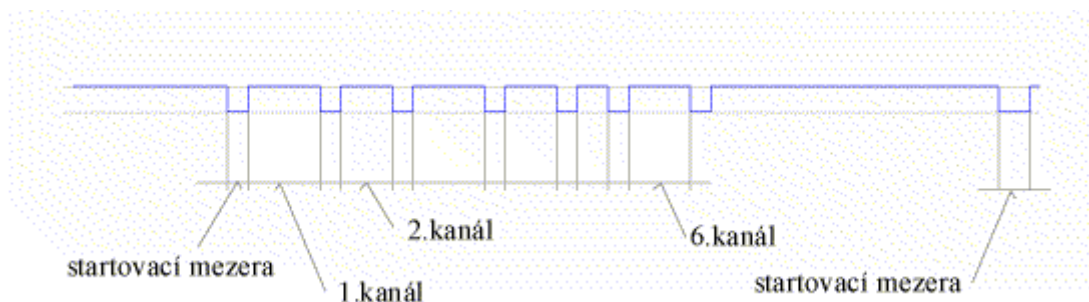
Pásmo pro AM a FM modulaci jsou však v dnešní době velmi zarušená a nejsou tak příliš vhodná pro provoz RC modelů, hlavně pak modelů leteckých.

Pro provoz modelů se dnes hojně využívá pásmo 2,4 GHz, které se např. využívá také pro přenos internetu a jedná se o tzv. volné pásmo. V tomto pásmu se používá tzv. DSM (digital spread spectrum modulation) modulace.

### 2.6.1. Pulsně polohová modulace (PPM)

Tento způsob modulace byl jedním z prvních způsobů, jak přenášet data z vysílače do přijímače. PPM modulace je založena na přímém převodu délky pulsu na polohu. Výchylka ovladače je převedena na délku pulsu pro každý kanál zvlášť a ty jsou pak seřazeny za sebou (viz. Obr. 2.10). Délky jednotlivých pulsů pro každý kanál jsou v rozmezí cca 1 – 2 ms.

Střední poloha ovladače je pak určena délkou pulsu 1.5 ms. Celá tato série (časový multiplex) je pak vysílána do přijímače cca 50x za sekundu, který tuto sérii převádí na jednotlivé ovládací kanály a určuje tak výchylky jednotlivých serv a dalších komponent. Tento způsob modulace však není příliš přesný a nemá žádnou ochranu proti poškozeným pulsům nebo rušivým signálům. Výhodou tohoto přenosu je, že nepotřebuje žádný mikropočítač, který by dekodoval jednotlivé pulsy a také je kompatibilní mezi všemi vysílači a přijímači, které používají PPM modulaci, takže je možné libovolně kombinovat různé značky výrobců.



Obr. 2. 10 Pulsně polohová modulace

### 2.6.2. Pulsně kódová modulace (PCM)

Pulsně kódová modulace je novější typ modulace, kdy výchylka ovladače je převedena na číslo a binárně zakódovaná. Celá série je vysílána v tzv. paketu, který obsahuje nejenom zakódované polohy jednotlivých kanálů, ale také obsahuje kontrolní součet. Celý paket je vysílán do přijímače, který dekóduje signál a ověří kontrolní součet. Pokud tento součet neodpovídá, je tento paket ignorován a řídicí informace zůstávají v původních polohách. Většina přijímačů s PCM modulací má funkci HOLD nebo tzv. fail-safe, kterou známe z konstrukčních filosofí. Funkce HOLD znamená, že pokud je přijat paket se špatným kontrolním součtem a tento je pak ignorován, přijímač zachová původní polohu výchylek. Funkce Fail-safe je vyspělejší funkcí, kdy lze naprogramovat, do jaké polohy se mají nastavit ovládací prvky, v případě, že jsou přijímány špatné pakety po delší dobu, nebo je dokonce ztracen signál. Tato funkce je velmi užitečná, protože lze nastavit např. polohu serv tak, aby letadlo začalo kroužit, motor se má vypnout a má se např. vysunout podvozek. Pokud tedy dojde k nějaké chybě v komunikaci mezi vysílačem a přijímačem, pak je nastavena konfigurace pro „nouzové přistání“ a letadlo tak má větší šanci, že se nepoškodí, nebo že poškození budou minimální a také, že majitel své letadlo najde, protože mu neodletí příliš daleko.

Nevýhodou této modulace je nutnost použití nějakého mikropočítače, který bude dekódovat signály, tudíž se jedná o složitější konstrukci a hlavně nelze kombinovat přijímače

a vysílače různých značek, byť oba používají PCM modulaci. Je tedy dbát na kompatibilitu těchto zařízení.

### 2.6.3. Digitální spektrální modulace (DSM)

Tento způsob modulace se používá v pásmu 2,4 GHz. Jedná se o nejnovější typ modulace používané v řízení modelů. Přijímač a vysílač jsou navzájem „spárovány“, což v praxi znamená, že si pamatují svou adresu navzájem a nedochází tak k vnějšímu rušení. Při zapnutí soupravy dojde k prohledání frekvence a nalezení volného kanálu. Tento kanál je potom použit pro komunikaci právě mezi těmito dvěma zařízeními.

Pro DSM se používají dvě základní metody přenosu dat. FHSS (frequency hopping spread spectrum) metoda je založená na přenosu dat v úzkém pásmu, ale při současném „přeskakování“ mezi frekvencemi. Změna frekvence je velmi rychlá (v řádech ms). Tato metoda však není tak spolehlivá jako metoda DSSS (direct sequence spread spectrum). DSSS je založeno na vysílání na jedné frekvenci, avšak na velmi širokém pásmu. Navíc tato metoda umožňuje zvýšení dosahu a je spolehlivější, než starší typ FHSS.

Přijímače se liší v zásadě pouze počtem ovládacích kanálů, frekvencí na které přenášejí data a svými rozměry. Některé přijímače mají přímo vestavěnou podporu telemetrických informací. Tato funkce umožňuje ušetřit hmotnost a prostor, protože jsou integrovány 2 systémy v jednom zařízení.

Typ	Hmotnost	Počet kanálů	Frekvence	Cena	Poznámka
Futaba R138DF	49 g	8	35 MHz	1380 Kč	PCM modulace
Hitec HSD-09RQ	38 g	9	40 MHz	740 Kč	FM/PPM modulace
Hitec OPTIMA 6 LITE	17 g	6	2,4 GHz	920 Kč	S telemetrií: napětí přijímače
OrangeRx R610	9,8 g	6	2,4 GHz	259 Kč	DSM2 pro vysílače Spektrum
Turnigy 9X	18 g	8	2,4 GHz	369 Kč	Standardní JR konektory
AR6100 Microlite	3,5 g	6	2,4 GHz	1044 Kč	Pro Spektrum DSM2 modulaci
DUPLEX R14	30 g	14	2,4 GHz	3300 Kč	S telemetrií

Tabulka 2. 5 Srovnávací tabulka přijímačů

## **2.7.Pohonné jednotky**

Další část systému řízení jsou samozřejmě pohonné jednotky. Specifikací této práce je křídlo s elektropohonem, tudíž můžu zcela vypustit jakoukoliv diskuzi o spalovacích motorech. Budu se tedy zabývat pouze elektromotory a možnostmi jejich využití.

Elektromotory se v dnešní době dělí na 2 základní skupiny a to stejnosměrné motory a střídavé motory. Obě tyto skupiny jsou na trhu poměrně stejně zastoupeny, avšak střídavé motory jsou dle mého názoru trochu na vzestupu na úkor stejnosměrných motorů. Nejdříve se budu zabývat stejnosměrnými motory, které jsou konstrukčně starší.

### **Stejnosměrné motory**

Tyto motory jsou konstruovány jako rotor a stator spolu s uhlíkovými kartáčky, které zajišťují přenos proudu do rotoru. Nevýhodou těchto motorů je jejich vyšší hmotnost a nižší spolehlivost a životnost právě z důvodu použití komutátorového spojení a kartáčků, které se opotřebovávají a jsou tak jednou z kritických součástí celého motoru.

### **Střídavé motory**

Střídavé motory nebo také „Brushless“ motory jsou moderní typy motorů, které díky napájení střídavým proudem nepotřebují pro svou činnost kartáče a komutátor. Tyto motory se vyznačují vyšší účinností než stejnosměrné motory a také jsou spolehlivější, díky absenci uhlíkových kartáčů, které se opotřebovávají. AC motory se vyrábějí i v provedení s rotačním pláštěm. Rotační plášť umožňuje výrazné zvýšení krouticího momentu, což je obrovská výhoda této konstrukce. Díky vyššímu krouticímu momentu je možné použít motor pro pohon velkých vrtulí, aniž bychom potřebovali převodovku. Střídavé motory mají oproti stejnosměrným motorům stejného výkonu přibližně o 50 % vyšší účinnost a také jsou cca o 30-50 % lehčí. Každé ušetření váhy je v případě leteckých konstrukcí vítané. Mírnou nevýhodou těchto motorů je jejich vyšší cena, která se však pomalu vyrovnává se současnými stejnosměrnými motory a ve srovnání s výhodami, které střídavé motory nabízí, je jejich vyšší cena zanedbatelným mínusem.

Název	Typ	Proud (max)	Otáčky	Výkon	Hmotnost	Cena
Turnigy D3530/14	Střídavý	22 A	1100 ot./V	315 W	73 g	420 Kč
Turnigy D3548/4	Střídavý	50 A	1100 ot./V	910 W	159 g	580 Kč
FOXY C3025/12	Střídavý	40 A	770 ot./V	500 W	181 g	1400 Kč
MIG 400	Stejnoseměrný	10 A	-	72 W	78 g	95 Kč
SPEED 600 BB TURBO	Stejnoseměrný	40 A	17000	480 W	220 g	620 Kč
ROTON 1300 W/18	Střídavý	35 A	330 ot./V	1300 W	330 g	3030 Kč

Tabulka 2. 6 Srovnávací tabulka motorů

## 2.8. Akumulátory

Všechny výše zmíněné prvky (snad kromě táhel) potřebují pro svou činnost elektrický proud. Jednou, a zatím i nejrozšířenější možností, pro uchování a generování elektrického napětí jsou akumulátory. V dnešní době se používají 3 typy akumulátorů. Jsou to NiMH, LiPol a LiFe. Důležité parametry u akumulátorů jsou:

- Kapacita - udává se většinou v mAh (např. 2500mAh)
- Vybíjecí proud - uvádí se v jednotkách C, která odpovídá číselné hodnotě kapacity (např. pro 2500 mAh je  $1C=2,5A$ )
- Vnitřní odpor – schopnost dávat větší či menší vybíjecí proud, udává se většinou v mΩ
- Jmenovité napětí akumulátoru – 1.2 V u NiMH článku, 3.7 V u LiPol článku a 3.3 V u LiFe článku
- Hmotnost celého packu – udávaná v gramech

Zřejmě nejoblíbenější jsou v dnešní době LiPol akumulátory. Tyto články mají výborný poměr hmotnost/kapacita, protože mají vysokou energetickou hustotu. Díky vyššímu jmenovitému napětí článků, lze dosáhnout vyšších napětí při nižším celkovém počtu článků a tím samozřejmě ušetřit hmotnost. Mezi modeláři jsou také rozšířené LiFe (nebo správně také  $LiFePO_4$ ) články, které jsou na trhu posledních pár let. Tyto články mají nižší jmenovité napětí, které činí 3,3 V. Lze je nabíjet vyššími proudy a také jsou schopny dodávat stabilně energii ve velkém rozmezí teplot (na rozdíl od NiMH článků). Články netrpí vysokou mírou samovybíjení, v praxi to vypadá, že se články samovolně prakticky nevybíjejí. LiFe články jsou levnější na výrobu, protože neobsahují drahé kovy a jsou také netoxické. Díky své konstrukci jsou tyto články také bezpečnější než lithiové akumulátory, nehrozí tak např. hoření či výbuch článku při nesprávném dobíjení nebo přebíjení.

Název	Typ	Kapacita	Vybíjecí proud	Napětí	Hmotnost	Cena
LRP Wild Pack 1800	NiMH	1800 mAh	40 A	7,2 V	260 g	350 Kč
LRP Power Pack 3000	NiMH	3000 mAh	50 A	7,2 V	260 g	520 Kč
FOXY Li-Pol 1800	LiPol	1800 mAh	70 A	7,4 V	110 g	520 Kč
G3 RAY Li-Pol 3250	LiPol	3250 mAh	84,5 A	7,4 V	165 g	515 Kč
FOXY Li-Pol 5000	LiPol	5000 mAh	200 A	7,4 V	300 g	950 Kč
A123 9,9V 2300 mAh	LiFe	2300 mAh	-	9,9 V	-	1000 Kč

Tabulka 2. 7 Srovnávací tabulka akumulátorů

## 2.9.FPV systém

FPV je zkratka anglického výrazu First Person View neboli pohled z první osoby. Systém FPV se využívá pro řízení zařízení na dálku tak, jako bychom v zařízení seděli sami. V základu se skládá ze snímacího zařízení, které zajišťuje záznam (snímání) obrazu, přenosového zařízení a zobrazovacího zařízení, které je většinou pouze na pozemní stanici. V rozšířené verzi se může přidat také polohovací zařízení pro natáčení objektivu, záznamové zařízení, stabilizační zařízení nebo tzv. headtracker, který natáčí objektiv tam, kam se dívá pilot.

Pro zařízení typu UAV je systém FPV velmi užitečný, ne-li dokonce nezbytný. Pokud chceme provozovat bezpilotní letoun jako autonomní systém, je dobré mít možnost kontrolovat, kde se letoun v daném okamžiku nachází. Ke kontrole nám samozřejmě může sloužit např. GPS přijímač, který bude zaznamenávat souřadnice v prostoru. Tyto informace však nejsou velmi spolehlivé, a pokud nemáme možnost vizuální kontroly přímo letounu, pak si nemůžeme být jisti, co se s letounem právě děje. Představme si modelovou situaci, kdy máme GPS souřadnice vč. výšky. Pomocí těchto dat můžeme poměrně přesně určit, kde se na mapě nachází náš letoun. Nemůžeme však určit, zda je letoun stále ve vzduchu, nebo je letoun na zemi z jakéhokoliv důvodu. Pokud neznáme výšku nad terénem, kterou by bylo možné pomocí senzorů určit, pak nevíme, zda letoun letí nebo ne. Dokonce, i kdybychom měli rychlost pohybu, kterou nám systém GPS umožňuje určit, tak nevíme jak na tom letoun je. Pokud je rychlost pohybu větší než 0, pak můžeme s určitou pravděpodobností říct, že letoun letí a kam. Ovšem pokud je rychlost nulová, nabízí se nám 2 situace, ve kterých může letoun být. V první situaci je letoun na zemi, a proto se nepohybuje. V druhé situaci však může být letoun ve vzduchu, ale vlivem větru, který vane proti směru pohybu letounu o stejné rychlosti, se letoun nebude vůči zemi pohybovat, a tím tedy bude GPS indikována nulová rychlost. Jestliže je na letounu nainstalován systém přenosu obrazu v reálném čase, tak může operátor na zemi s pravděpodobností blízkou 1 určit, v jakém stavu jeho letoun je.



Dnes existují komerční FPV systémy, které jsou přímo koncipovány pro použití na letounech. Tyto systémy obsahují kompletní výbavu pro přenos obrazu z letounu k uživateli na zemi. Obsahují kameru, vysílač, akumulátor, pozemní přijímač, antény, zobrazovací zařízení a napájecí zdroj pro pozemní stanici. Zobrazovací zařízení je koncipováno buďto jako klasický monitor (LCD, televize) nebo je v podobě brýlí, které obsahují dva malé zobrazovací monitory, a lze tak mít obraz doslova vždy na očích.

Často jsou systémy FPV tvořeny amatérským způsobem, tak aby zařízení bylo co možná nejlevnější, případně obsahovalo některé další funkce, které komerční systém nenabízí. Snahou těchto amatérských systémů je často také dosažení co možná největšího radiusu, na kterém bude tento systém fungovat. Komerční systémy často dosahují vzdáleností jen v řádech stovek metrů od přijímače, což odpovídá vzdálenostem, kdy lze ještě letoun sledovat přímo okem.

Jednou z možností rozšíření FPV systému je přidání funkce OSD (on-screen display). Pomocí této funkce lze zobrazovat na monitoru, případně v brýlích např. telemetrické údaje z letounu.

Mezi nejznámější komerční systém současné doby patří FPV od společnosti Fatshark případně Eagle Tree Systems. Systém od Fatshark obsahuje kompletní sestavu pro vysílání a příjem videosignálu vč. brýlí. Cena takového setu je přibližně 7000 Kč. Pokud bychom chtěli set i s headtrackerem a OSD systémem, potom bychom se dostali na cenu cca 11 tisíc korun. Tyto systémy jsou tzv. „Plug & Fly” neboli „zapoj a let“, takže jsou vhodné pro všechny amatéry a lidi, kteří nechťejí ztrácet čas nějakým složitým zapojováním nebo dokonce vymýšlením systému.

## **2.10. Telemetrické systémy**

Telemetrické systémy slouží k přenosu důležitých veličin z celého elektronického systému letounu. Pro záznam telemetrických dat je třeba na letoun instalovat požadovaná čidla, která budou snímat hodnoty a dále zařízení pro záznam, případně také pro přenos dat přímo k uživateli. Pomocí telemetrických dat můžeme zjišťovat, jak probíhal let v případě pouhého záznamu, nebo jak let právě probíhá, pokud máme možnost tzv. živého náhledu na data.

Nejčastěji se zjišťují hodnoty akumulátoru, jako jsou aktuální napětí, proud nebo zbývající energie. Dále se často měří hodnoty z motorů např. otáčky příp. teplota. Je možné

připojit také čidla pro měření barometrického tlaku, výškoměry, rychloměry, variometry, elektronické kompas, gyroskopy a akcelerometry pro určení polohy letadla nebo aktuální GPS souřadnice.

Všechny tyto informace lze buďto pouze zaznamenávat do tzv. dataloggeru a později je vyhodnotit v PC nebo pouhým zobrazením v přístroji. Nebo je možné je přímo přenášet během letu a pomocí vhodného zobrazovače odečítat aktuální hodnoty. Některé RC soupravy umožňují přenos a zobrazení hodnot akumulátorů, což je pro pilota velmi důležitá informace, podle které může určit, jak dlouho ještě může s letounem létat. Pro většinu ostatních údajů je třeba použít přídavné moduly, které umožní záznam a přenos těchto dat. Často jsou kombinovány právě s FPV systémy a OSD systémy. V této kombinaci se zobrazují informace přímo na displeji nebo v brýlích uživatele.

### 3. Návrh metody řízení

V této části mé diplomové práce se již budu zabývat samotným návrhem řízení pro samokřídlo. Pokusím se navrhnout tři varianty řízení, z nichž alespoň jednu bych poté rád realizoval.

#### 3.1.Řízení pomocí elevonů bez možnosti vertikálního vzletu

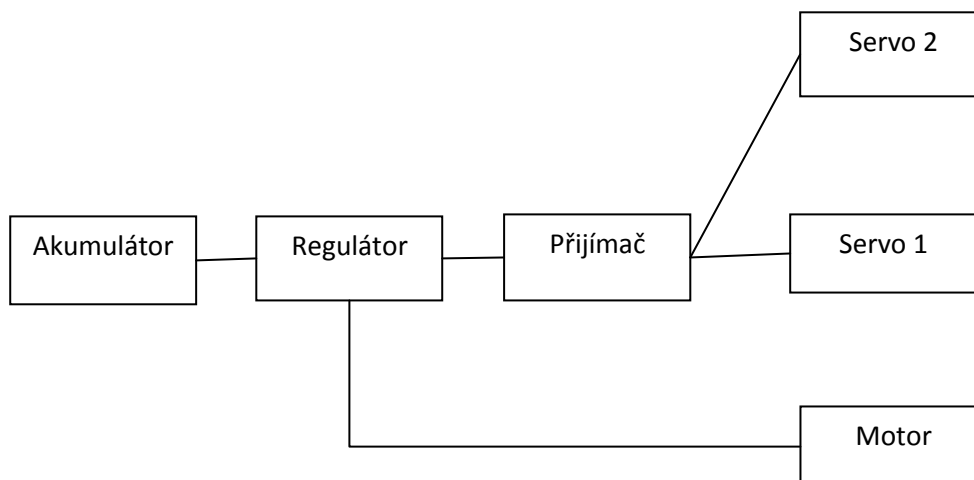
První metodu pro řízení jsem pojal jako klasickou konstrukci, kdy řízení bude realizováno pomocí elevonů a křídlo nebude mít možnost vertikálního vzletu. Jedná se o konstrukci, která je výrobně jednodušší a finančně méně nákladná. Konstrukce bude mít pouze jeden tlačný motor. Vycházet budu z konstrukce samokřídla typu Hot Wing 1200 ARF. Tento model je vyroben z odolného EPP materiálu a je v základu vybaven uhlíkovými vzpěrami a táhly.

Specifikace:

Rozpětí:	1200 mm
Letová hmotnost:	od 330 g
Doporučený motor:	AC 80 W
Doporučený akumulátor:	3s LiPol 1300 – 1500 mAh

Jedná se o lehký model, který je možné přizpůsobit mým potřebám pro letoun typu UAV. Výhodou tohoto modelu je již základní konstrukce s elevony, takže je jednodušší vytvořit řídicí systém.

Pro základní možnost letu je třeba osadit letoun dvěma servy typu mikro, střídavým motorem o výkonu přibližně 80 W, 3-kanálovou RC soupravou, akumulátorem a regulátorem.



*Obr. 3. 1 Blokové schéma zapojení elektroniky*

Takto vypadá blokové schéma zapojení elektroniky na jednoduchém modelu letounu, kde jsou ovládány pouze elevony a otáčky motoru. Žádné další přídavné funkce ani ovládací prvky zde nejsou. Takto zapojený model lze ovládat pouze za pomoci vysílače a nelze mu nijak naprogramovat např. trasu letu nebo výšku, ve které má letět. K tomuto systému je třeba dodat další prvky, aby bylo možné uvažovat o autonomně řízeném UAV.

Pro výběr komponent tohoto systému řízení budu vycházet z požadavku na statický tah přibližně 1000 g. Rychlost letu jsem si stanovil na přibližně 80 km/h. Vzletová hmotnost je počítána na 1000g. Při zadaných vstupních parametrech jsem vybral několik možných konfigurací a provedl jejich cenovou kalkulaci.

Výběr motoru a vrtule jsem provedl pomocí programu Drive Calculator. Jedná se o freeware verzi programu, která je dostupná na stránkách [www.drivecalc.de](http://www.drivecalc.de). Program je pravidelně aktualizován a obsahuje velké množství komponent. Pomocí tohoto programu lze určit vhodný motor s použitím vhodné vrtule a dokonce i výběr vhodného regulátoru. Pokud do programu zadáme také typ akumulátoru, pak lze vyčíst přibližnou dobu letu na plný výkon. Drive Calculator také zobrazuje celkovou hmotnost sestavy motor, vrtule, akumulátor, regulátor příp. i převodovky, pokud je vhodné ji použít. Program je velmi užitečný pro rychlý přehled a výběr požadovaných komponent dle zadaných parametrů. V programu lze vybírat dle typu motoru a k tomu přiřadit vhodnou vrtuli, nebo k vybrané vrtuli přiřadit vhodné motory. Lze také zadat omezení pro hmotnost motoru a maximální odebíraný proud.

### 3.1.1. Pohonné jednotky

#### Konfigurace č. 1

Střídavý motor Turnigy 2836 - 1000 o hmotnosti 81 g. Výkon tohoto motoru je 300 W, což je pro tento systém řízení dostačující. Maximální proud je 30 A a napětí je 11 V. Otáčky jsou 1000 ot./V. Při použití vrtule 9x6 APC E je možné s tímto motorem dosáhnout přibližně 1100 g statického tahu. Vrtule je na motor připojena přímo bez použití převodovky. Otáčky jsou cca 9900 ot./min. Účinnost tohoto motoru je až 79,7 %. Při použití dané vrtule je celková účinnost přibližně 72,2 %. Maximální rychlost je v této sestavě 90 km/h. Odebíraný proud z baterií je cca 24 A. Při použití baterií o kapacitě 3000 mAh je předpokládaná doba letu na plný výkon přibližně 7 min. Regulátor pro tuto sestavu je Turnigy Plush 30A.

Název	Parametry	Cena
<b>Motor</b> Turnigy 2836 – 1000	<ul style="list-style-type: none"><li>1000 kv</li><li>Proud max. 30 A</li><li>Napětí 11 V</li><li>Váha 81 g</li></ul>	361 Kč
<b>Vrtule</b> APC 9x6 E	<ul style="list-style-type: none"><li>Délka 9“</li><li>Stoupání 6“</li><li>Hmotnost 15 g</li></ul>	61 Kč
<b>Regulátor</b> Turnigy Plush 30 A	<ul style="list-style-type: none"><li>Stálý proud 30 A</li><li>Max. proud 40 A</li><li>Hmotnost 25 g</li></ul>	247 Kč
<b>Akumulátor</b> Turnigy 3000 mAh 20 C	<ul style="list-style-type: none"><li>Kapacita 3000 mAh</li><li>Uspořádání 3S</li><li>Napětí 11,1 V</li><li>Vybíjecí proud 20 C</li><li>Max. vybíjecí proud 30 C</li><li>Hmotnost 258 g</li></ul>	418 Kč
	Celková hmotnost <b>379 g</b>	Celková cena <b>1087 Kč</b>

Tabulka 3. 1 Konfigurace pohonné sestavy č. 1

## Konfigurace č. 2

Střídavý motor Himax HC 3516 - 1130 o hmotnosti 134 g. Výkon motoru je 350 W. Maximální proud je 48 A a napětí je shodné 11 V. Je schopný točit 1130 ot./V. Při použití stejné vrtule 9x6 APC E je výsledný statický tah 1300 g. Otáčky vrtule bez použití převodovky jsou cca 10700 ot./min. Rychlost je 98 km/h. Maximální účinnost motoru je 81,7 %. Při kombinaci s vrtulí je výsledná účinnost téměř shodná s maximální účinností motoru a to 81,1 %. Odebíraný proud je cca 26 A což při kapacitě akumulátoru 6000 mAh dává přibližně 12,5 min letu při plném zatížení. Regulátor je použit Jeti Advance+ 40.

Název	Parametry	Cena
<b>Motor</b> Himax HC 3516 - 1130	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 1130 kv</li><li>▪ Proud max. 48 A</li><li>▪ Napětí 11 V</li><li>▪ Váha 134 g</li></ul>	1330 Kč
<b>Vrtule</b> APC 9x6 E	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Délka 9"</li><li>▪ Stoupání 6"</li><li>▪ Hmotnost 15 g</li></ul>	61 Kč
<b>Regulátor</b> Jeti Advance+ 40	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Stálý proud 40 A</li><li>▪ Programovatelný</li><li>▪ Hmotnost 35 g</li></ul>	2327 Kč
<b>Akumulátor</b> Polyquest 6100mAh 20 C	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Kapacita 6100 mAh</li><li>▪ Uspořádání 3S</li><li>▪ Napětí 11,1 V</li><li>▪ Vybíjecí proud 20 C</li><li>▪ Hmotnost 427 g</li></ul>	1919 Kč
	<b>Celková hmotnost 611 g</b>	<b>Celková cena 5637 Kč</b>

Tabulka 3. 2 Konfigurace pohonné sestavy č. 2

### 3.1.2. Řízení ploch

K těmto dvěma konfiguracím pohonu je nutné přidat také ovládací prvky pro samotné řízení. Při řízení pomocí elevonů je potřeba vybavit letoun dvojicí serv, která se připojí vhodným způsobem k elevonům a pomocí kterých bude realizováno jejich naklápění. Vzhledem k hmotnosti letounu a velikosti řídicích ploch jsou dostačující serva typu mikro. Konkrétně doporučuji použít digitální mikroserva s tahem přibližně 1,6 kg/cm. Rychlost serva v tomto případě nehraje až tak velkou roli, protože rozdíl 0,03s, což je průměrný rozdíl

v rychlosti serv, je opravdu zanedbatelný. Díky digitalizaci serva je možné nastavit jeho parametry a zjednodušit nebo vyladit tak ovládání letounu.

Servo	Parametry	Cena
HS-A5076HB	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digitální, programovatelné</li> <li>▪ Tah 2,5 kg/cm</li> <li>▪ Rychlost 0,14s/60°</li> <li>▪ Hmotnost 14,3 g</li> <li>▪ Karbonitová převodovka</li> <li>▪ Kuličková ložiska</li> </ul>	559 Kč
2 ks	Celková hmotnost <b>28,6 g</b>	Celková cena <b>1118 Kč</b>

*Tabulka 3. 3 Servo pro řízení*

Toto servo jsem vybral, protože se jedná o lehké servo, které je však zároveň dostatečně silné pro přenos sil na ovládací plochy. HS-A5076HB disponuje určitou silovou rezervou, takže by mělo být spolehlivé při různých režimech letu. Navíc je díky programátoru možné nastavit u tohoto serva několik parametrů.

- Smysl otáčení
- Rychlost otáčení
- Šířku pásma necitlivosti
- Velikost výchylky
- Polohu neutrálu
- Nastavení výchylky pro fail-safe mód

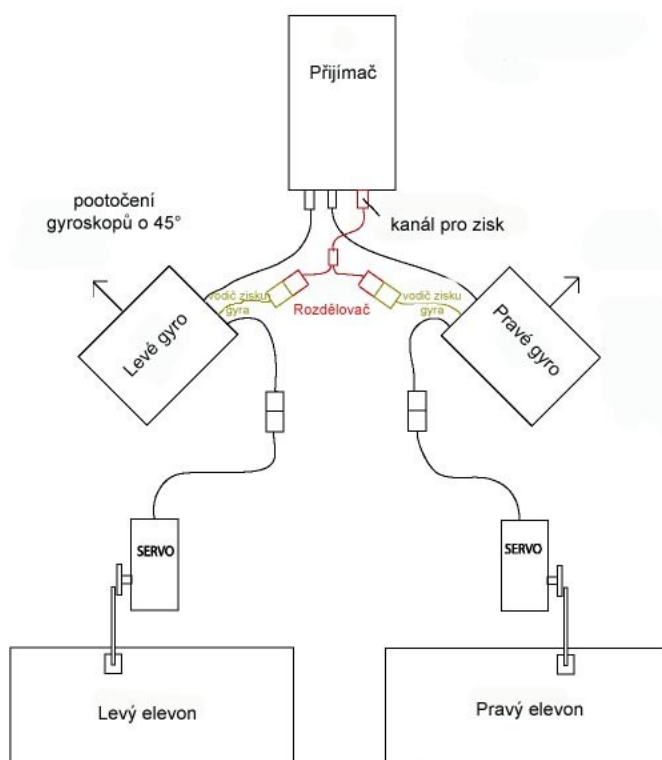
Pro přenos sil mezi servem a elevony je možné použít ocelový drát o průměru 0,8mm. Konce je možné osadit vidličkovým závěsem s ložiskem pro jednoduché a volné otáčení. Nebo pro zjednodušenou konstrukci a mírné ušetření financí lze táhlo na koncích ohnout do tzv. Z záhybu. Celá konstrukce táhla vyjde řádově na 10 Kč.

### 3.1.3. Prvky pro stabilizaci letu

Základním prvkem myšlenky UAV je stabilní let, bez zásahu pilota/operátora do řízení. Pokud je letoun provozován za ideálního počasí, kdy není žádný vítr a nehrozí tak změna směru letu příčinou poryvu větru, pak je možné dosáhnout stabilního letu pouze ponecháním

ovládacích ploch v jedné poloze. Pokud tedy operátor nezasahuje do řízení, pak je letoun ve stabilním letu. Jenže v reálném prostředí není možné dosáhnout takovýchto podmínek a proto je třeba do řízení zakomponovat autostabilizační prvek. Pro stabilizaci je třeba vložit mezi přijímač a ovládací servo gyroskop. Tato součástka pomůže s poryvy větru, které by mohly způsobit změnu směru letu. Pokud přidám mezi servo a přijímač MEMS gyroskop, pak budu schopen zaznamenávat výchylku směru a pomocí nastavení citlivosti pošle gyro signál do serva, aby došlo k vyrovnaní této výchylky. Jakmile prochází přes gyroskop řídicí signál z přijímače, pak dojde k jeho „vyřazení“ a neovlivňuje tak řízení letu.

Pro stabilizaci klopení a klonění je potřeba 2 gyroskopy, které se umístí vzájemně pootočené o  $45^\circ$ . Takto nastavené gyroskopy zajišťují stabilizaci jak klonění tak i klopení najednou. Na následujícím obrázku (Obr. 3.2) je znázorněno zapojení serv, gyroskopů a přijímače. Díky zapojení vodičů zisku obou gyroskopů na jeden kanál je jednoduché řídit zisk pro oba stejně. Při tomto zapojení je použita pro řízení elevonů vestavěná funkce V-mix (nebo také Delta-mix) ve vysílači místo zapojení přídavného V-mix kabelu do přijímače.



Obr. 3. 2 Schéma zapojení stabilizačních prvků



Typ	Parametry	Cena
GA-250 <b>Doporučeno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MEMS senzor</li> <li>▪ AVCS mod</li> <li>▪ Rate mod</li> <li>▪ Váha 8 g</li> </ul>	<b>190 Kč</b>
GWS PG-02	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Piezo senzor</li> <li>▪ Duální zisk</li> <li>▪ Váha 11 g</li> </ul>	495 Kč
Futaba GY-520	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MEMS senzor</li> <li>▪ AVCS mod</li> <li>▪ Váha 6,9 g</li> </ul>	2470 Kč

*Tabulka 3. 4 Doporučené gyroskopy*

Pro základní stabilizaci lze použít i levnější gyroskopy. Pro tuto konstrukci jsem vybral typ GA-250. Jedná se o mini gyro typu MEMS s režimy AVCS a Rate mode. Váha je 8 g, takže zbytečně nezvyšuje vzletovou hmotnost letounu. Cena jednoho kusu je 190 Kč. Vzhledem k hmotnosti a také k ekonomické stránce se jedná o optimální řešení pro testovací účely.

#### **3.1.4. Přijímač**

Pro řízení letounu musíme osadit konstrukci minimálně 4 kanálovým přijímačem. 1 kanál pro regulátor a motor, 2 kanály pro serva a gyra a 1 kanál pro nastavení zisku gyra. Doporučuji však použít minimálně 6 kanálový přijímač, abychom měli dostatečnou rezervu pro připojení dalších komponent pro řízení UAV. Na volné kanály lze připojit např. ovládání kamery pro FPV systém řízení nebo připojení telemetrických senzorů.

Doporučuji vybrat soupravu pracující v pásmu 2,4 GHz, kde jak jsem již v první kapitole uvedl, nehrozí kolize v důsledku rušení jinými vysílači. Pásmo 2,4 GHz je díky svému typu přenosu dat imunní vůči rušení. U výběru přijímače musíme dbát na kompatibilitu s vysílačem. Je tedy vhodné pořizovat soupravu jako set od stejného výrobce, kdy je téměř 100% zaručena vzájemná kompatibilita. Možným rizikem však může být kolize mezi novým a starším systémem kódování dat u stejného výrobce např. DSM a DSM2.

Na výběr je velké množství přijímačů, z nichž jsem vybral 3 vhodné kandidáty. Výběr zahrnoval pouze 6 a více kanálové přijímače pracující v pásmu 2,4 GHz.

## **OPTIMA 9 2,4GHz**

Přijímač disponuje 9 kanály. Dvojitá všesměrová anténa zaručuje lepší příjem signálu z vysílače. Přijímač má tzv. data zásuvku, ke které je možné připojit přídavný telemetrický modul. K modulu je pak možné připojit 8 čidel a pomocí přijímače vysílat data do vysílače. Přijímač pracuje na systému AFHSS a je tedy kompatibilní s vysílači se stejným systémem. Lze naprogramovat fail-safe konfiguraci. Přijímač je lehký o váze 22 g.

## **QuickySky S7 2,4GHz**

Přijímač je kompatibilní se systémy FASST. Jedná se o 7 kanálový přijímač, který nedisponuje žádnými zvláštními funkcemi. Výhodou tohoto přijímače je jednak jeho váha, která činí pouhých 7,8 g a za druhé také jeho cena. Ve srovnání s OPTIMA 9 je rozdíl téměř 1000 Kč. Nevýhodou je slabší programovatelnost a absence telemetrických možností.

## **OrangeRx R910 2,4GHz**

Přijímač disponuje 9 kanály bez telemetrických funkcí. Je kompatibilní se všemi DSM2 vysílači. Disponuje 2 porty pro připojení satelitního přijímače, což umožňuje zvýšení dosahu a kvality signálu. Fail-safe funkce nastavuje serva do neutrální polohy. Váha přijímače je 14 g.

Technicky lépe vybavený je přijímač OPTIMA 9, ale vzhledem k ceně, která je cca 3x vyšší doporučuji přijímač OrangeRx R910. Přenos telemetrických údajů lze uskutečnit pomocí externího modulu což nám dává větší míru variability.

Přijímač	Parametry	Cena
Optima 9	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 9 kanálů</li> <li>▪ Telemetrický přenos</li> <li>▪ AFHSS kompatibilní</li> <li>▪ Programovatelný</li> <li>▪ Váha 22 g</li> </ul>	1740 Kč
QuickSky S7	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 7 kanálů</li> <li>▪ FASST kompatibilní</li> <li>▪ Bez telemetrie</li> <li>▪ Váha 7,8 g</li> </ul>	880 Kč
OrangeRX R910 <b>Doporučeno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 9 kanálů</li> <li>▪ DSM2 kompatibilní</li> <li>▪ Bez telemetrie</li> <li>▪ Fail-safe</li> <li>▪ Satelitní port</li> <li>▪ Váha 14 g</li> </ul>	<b>456 Kč</b>

*Tabulka 3. 5 Doporučené přijímače*

Takto sestavený systém řízení je připravený pro ovládání pákovým vysílačem s DSM2 modulací. Letoun je schopen klasického horizontálního vzletu a po dosažení požadované výšky může letět ustáleným vodorovným letem. Pro tento let není dále třeba zásahu pilota, řídicí elektronika bude vyvažovat případné klopení i klonění, takže pilot/operátor nemusí korigovat let. Nevýhodou řešení je nemožnost nastavení automatického zatáčení a tím dodržení zadaného radiusu. Pro řízení zatáčení letounu je stále třeba zásahu pilota pomocí vysílače. Jednou z krajních možností jak nastavit požadovaný radius je nakonfigurovat fail-safe mód tak, aby při ztrátě signálu vychýlil kormidla do požadované zatáčky a tím dosáhnout stabilního radiusu. Tato možnost však neposkytuje prakticky žádnou možnost kontroly nad letounem. Pro sofistikovaný systém řízení je možné doplnit elektroniku o FPV prvky, takže i po opuštění okruhu, kdy je letounu ještě vidět pouhým okem, je možné letoun řídit pomocí vysílače.

### **3.1.5. Ekonomický přehled**

Z ekonomického hlediska se jeví jako optimální volba pohonná soustava v konfiguraci č. 1 spolu s digitálními servy HS-A5076HB, gyroskopy GA-250 a přijímačem OrangeRx R910. V tabulce níže (tabulka 3.6) je výsledná kalkulace řídicí elektroniky pro metodu řízení pomocí elevonů bez možnosti VTOL. V této soustavě je letová doba při plném výkonu pohonné jednotky přibližně 6 min s přihlédnutím na proudový odběr ostatních komponent systému.

Název	Parametry	Cena
<b>Motor</b> Turnigy 2836 – 1000	<ul style="list-style-type: none"> <li>1000 kv</li> <li>Proud max. 30 A</li> <li>Napětí 11 V</li> <li>Váha 81 g</li> </ul>	361 Kč
<b>Vrtule</b> APC 9x6 E	<ul style="list-style-type: none"> <li>Délka 9“</li> <li>Stoupání 6“</li> <li>Hmotnost 15 g</li> </ul>	61 Kč
<b>Regulátor</b> Turnigy Plush 30 A	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stálý proud 30 A</li> <li>Max. proud 40 A</li> <li>Hmotnost 25 g</li> </ul>	247 Kč
<b>Akumulátor</b> Turnigy 3000 mAh 20 C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kapacita 3000 mAh</li> <li>Uspořádání 3S</li> <li>Napětí 11,1 V</li> <li>Vybíjecí proud 20 C</li> <li>Max. vybíjecí proud 30 C</li> <li>Hmotnost 258 g</li> </ul>	418 Kč
<b>Serva</b> 2x HS-A5076HB	<ul style="list-style-type: none"> <li>Digitální, programovatelné</li> <li>Tah 2,5 kg/cm</li> <li>Rychlost 0,14s/60°</li> <li>Hmotnost 14,3 g /ks</li> <li>Karbonitová převodovka</li> <li>Kuličková ložiska</li> </ul>	1118 Kč
<b>Gyra</b> 2 ks GA-250	<ul style="list-style-type: none"> <li>MEMS senzor</li> <li>AVCS mod</li> <li>Rate mod</li> <li>Váha 8 g /ks</li> </ul>	380 Kč
<b>Přijímač</b> OrangeRX R910	<ul style="list-style-type: none"> <li>9 kanálů</li> <li>DSM2 kompatibilní</li> <li>Bez telemetrie</li> <li>Fail-safe</li> <li>Satelitní port</li> <li>Váha 14 g</li> </ul>	456 Kč
	Celková hmotnost <b>437 g</b>	Celková cena <b>3041 Kč</b>

Tabulka 3. 6 Celkový přehled komponent pro metodu bez VTOL

### **3.2.Řízení pomocí elevonů s možností vertikálního vzletu**

Druhá metoda, kterou se budu zabývat, vychází opět z klasické konstrukce samokřídla ovládaného pomocí elevonů. Rozdílem v této konstrukci je možnost vertikálního vzletu eventuelně přistání či visení ve vzduchu. Konstrukce je oproti předchozí metodě náročnější jak z technického, tak i z finančního hlediska. Pro potřebu vertikálního vzletu je nutné přidat minimálně jeden motor. Já budu uvažovat ve své metodě řízení s přidáním 2 motorů pro vertikální vzlet a 1 motor zůstane jako u předchozí metody jako tlačný pro potřebu horizontálního letu. V případě této metody musím uvažovat o vyšší vzletové hmotnosti, kvůli přidáním pohonným prvkům a přidavným bateriím pro pohon těchto jednotek.

Pohonné jednotky budu dimenzovat na zatížení minimálně 2 kg, což mi dovoluje počítat i s případným přidaným balastem v podobě např. kamery nebo balíčku první pomoci. Pro výběr optimální konfigurace pohonných jednotek opět použiji program Drive calculator.

#### **3.2.1. Pohonné jednotky**

##### **Konfigurace č. 1**

Pro tlačný motor jsem vybral EMax BL 2815/09 o hmotnosti 112 g. Výkon tohoto motoru je 420 W, takže je dostatečný pro tuto konfiguraci. Maximální proud je 38 A. Otáčky jsou 920 ot./V. Při použití vrtule 10x7 APC E je statický tah přibližně 1800 g. Vrtule je na motor připojena přímo bez použití převodovky. Otáčky jsou cca 10200 ot./min. Účinnost tohoto motoru je až 80,5 %. Při použití dané vrtule je celková účinnost přibližně 79,4 %. Maximální rychlost je v této sestavě 109 km/h. Odebíraný proud z baterií je cca 30,1 A. Při použití baterií o kapacitě 3300 mAh je předpokládaná doba letu na plný výkon přibližně 6 min. Regulátor použitý pro tuto sestavu je Turnigy Plush 40A.

Pro možnost VTOL je třeba použít 2 motory o celkovém tahu větším než 2000 g. Je vhodné použít 2 stejné motory spolu se stejnými regulátory a vrtulemi, napájenými ze dvou akumulátorů. Napájecí akumulátory je třeba vzájemně propojit, aby docházelo k rovnoměrnému vybíjení. Pokud bychom použili rozdílné komponenty, nebo nepropojili akumulátory, mohlo by dojít k rozdílným tahům motorů v důsledku různých výkonů. Tento jev je samozřejmě nežádoucí, protože by docházelo ke klonění při vzletu nebo visení. Vybral jsem pro tuto aplikaci motor Turnigy 2836-1000kv. Při použití pevné vrtule GWS HD 9x5 je statický tah na jednom motoru přibližně 1200 g. Regulátor je použitý Turnigy Plush 40A. Napájení motorů je realizováno pomocí dvou akumulátorů s kapacitou 1600 mAh. Doba provozu v režimu visení je přibližně 4 minuty.

Název	Parametry	Cena
<b>Tlačný motor</b> EMax BL 2815/09	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 920 kv</li> <li>▪ Proud max. 38 A</li> <li>▪ Napětí 3-4 S (11-14 V)</li> <li>▪ Váha 112 g</li> </ul>	531 Kč
<b>VTOL motory</b> 2x Turnigy 2836-1000	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1000 kv</li> <li>▪ Proud max. 30 A</li> <li>▪ Napětí 3-4 S</li> <li>▪ Váha 81 g/ks</li> </ul>	361 Kč/ks
<b>Vrtule</b> APC 10x7 E	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Délka 10"</li> <li>▪ Stoupání 7"</li> <li>▪ Hmotnost 18 g</li> </ul>	69 Kč
<b>VTOL vrtule</b> 2x GWS HD 9x5	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Délka 9"</li> <li>▪ Stoupání 5"</li> <li>▪ Hmotnost cca 15 g/ks</li> </ul>	79 Kč/sada 2 ks
<b>Regulátor</b> 3x Turnigy Plush 40 A	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Stálý proud 40 A</li> <li>▪ Max. proud 55 A</li> <li>▪ Hmotnost 33 g/ks</li> </ul>	418 Kč/ks
<b>Akumulátor</b> Polyquest 3300mAh 20 C	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kapacita 3000 mAh</li> <li>▪ Uspořádání 4S</li> <li>▪ Napětí 14,8 V</li> <li>▪ Vybíjecí proud 25 C</li> <li>▪ Hmotnost 350 g</li> </ul>	1311 Kč
<b>VTOL akumulátory</b> 2x Turnigy 1600 mAh	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kapacita 1600 mAh</li> <li>▪ Vybíjecí proud 20 C</li> <li>▪ Hmotnost 137 g/ks</li> </ul>	247 Kč/ks
	<b>Celková hmotnost 1045 g</b>	<b>Celková cena 4460 Kč</b>

Tabulka 3. 7 Konfigurace pohonné sestavy č. 1

## **Konfigurace č. 2**

Střídavý motor Hacker A30-14L o hmotnosti 143 g. Výkon motoru je 550 W. Maximální proud je 35 A. Je schopný točit 800 ot./V. Při použití stejné vrtule 10x7 APC E je výsledný statický tah 1700 g. Otáčky vrtule bez použití převodovky jsou cca 10050 ot./min. Rychlost je 107 km/h. Maximální účinnost motoru je 81,2 %. Při kombinaci s vrtulí je výsledná účinnost téměř shodná s maximální účinností motoru a to 80,2 %. Odebíraný proud je cca 27 A což při kapacitě akumulátoru 5000 mAh dává přibližně 10 min letu při plném zatížení. Regulátor je použit Hacker X-40 PRO.

Pro VTOL jsem vybral motor Kontronik Maxi Dancer, který je dostatečně lehký a zároveň výkonný. Jeho hmotnost je 66 g a ve spojení s vrtulí GWS HD 9x5 dává 1160 g statického tahu. Při použití akumulátorů Hyperion 2500 mAh je schopen na plný výkon pracovat cca 7 min. Regulátor pro tento motor je Kontronik Jazz 55.

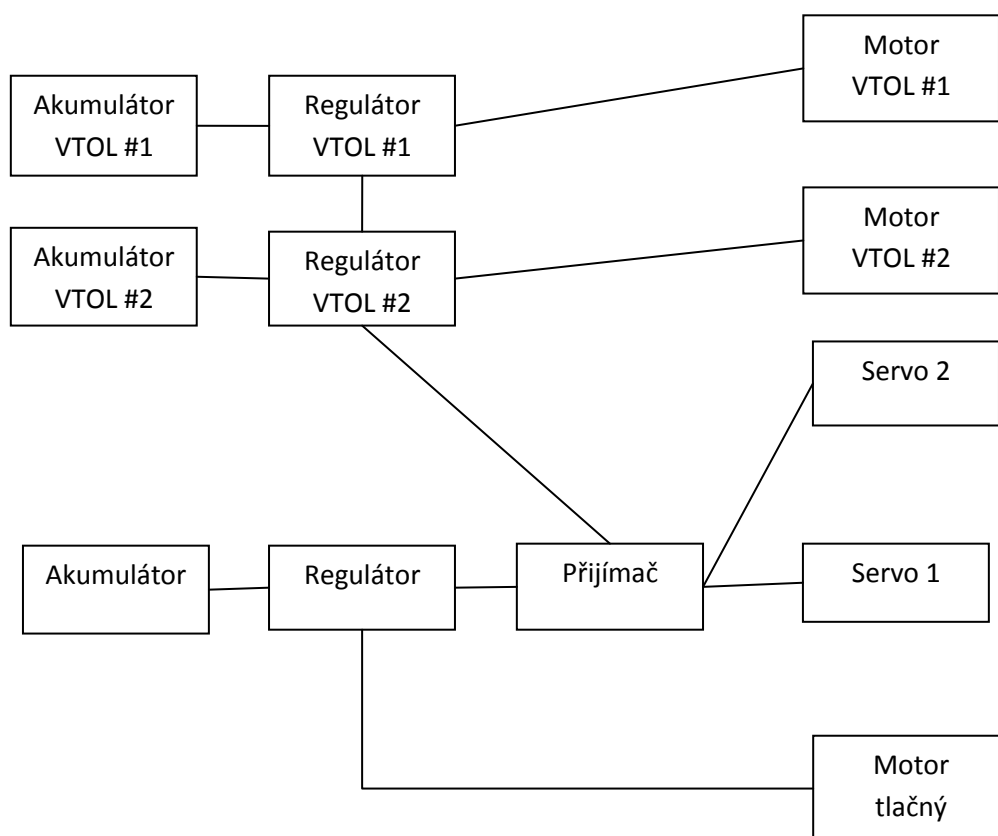


Název	Parametry	Cena
<b>Motor</b> Hacker A30-14L	<ul style="list-style-type: none"> <li>800 kv</li> <li>Proud max. 35 A</li> <li>Váha 143 g</li> </ul>	1973 Kč
<b>VTOL motory</b> 2x Kontronik Maxi Dancer	<ul style="list-style-type: none"> <li>1200 kv</li> <li>Váha 66 g/ks</li> </ul>	2325 Kč/ks
<b>Vrtule</b> APC 10x7 E	<ul style="list-style-type: none"> <li>Délka 10"</li> <li>Stoupání 7"</li> <li>Hmotnost 18 g</li> </ul>	69 Kč
<b>VTOL vrtule</b> 2x GWS HD 9x5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Délka 9"</li> <li>Stoupání 5"</li> <li>Hmotnost cca 15 g/ks</li> </ul>	79 Kč/sada 2 ks
<b>Regulátor</b> Hacker X-40 PRO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stálý proud 40 A</li> <li>Programovatelný</li> <li>Hmotnost 43 g</li> </ul>	2474 Kč
<b>VTOL regulátory</b> 2x Kontronik Jazz 55	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stálý proud 55 A</li> <li>Hmotnost 42 g</li> </ul>	3542 Kč/ks
<b>Akumulátor</b> Polyquest 5050mAh 20 C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kapacita 5050 mAh</li> <li>Uspořádání 4S</li> <li>Napětí 14,8 V</li> <li>Vybíjecí proud 35 C</li> <li>Hmotnost 520 g</li> </ul>	2500 Kč
<b>VTOL akumulátory</b> 2x Hyperion G3 CX 2500mAh	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kapacita 2500 mAh</li> <li>Uspořádání 3S</li> <li>Napětí 11,1 V</li> <li>Vybíjecí proud 25 C</li> <li>Hmotnost 180 g/ks</li> </ul>	941 Kč/ks
	Celková hmotnost <b>1330 g</b>	Celková cena <b>20790 Kč</b>

Tabulka 3. 8 Konfigurace pohonné sestavy č. 2

Z tabulek je vidět, že pro dosažení vyšší doby letu bylo nutné zvýšit kapacitu akumulátorů. Při současném zvýšení kapacity se také samozřejmě zvýšila i hmotnost. Pro kompenzaci nárůstu hmotnosti bylo nutné snížit hmotnost pohonných jednotek. Při zvýšení doby letu cca o 1/3 došlo k nárůstu hmotnosti také přibližně o 1/3. Cena se však zvýšila 4 násobně. Příčinou takového cenového skoku je nejen navýšení kapacity akumulátorů, ale také použití komponent od renomovaných výrobců, kde by měla být zaručena vyšší kvalita. Záměrně píši „měla být“ protože čínské výrobky dnes vykazují stejnou, ne-li vyšší kvalitu a při porovnání ekonomického hlediska se dle mého názoru vyplatí zakoupit podstatně levnější výrobek se stejnými parametry.

### 3.2.2. Řízení ploch



Obr. 3. 3 Blokové schéma zapojení elektroniky

Pro řízení letounu metodou elevonů spolu s VTOL možnostmi lze použít stejný princip jako v předchozím případě. Můžu tedy použít stejná serva HS-A5076HB jako u metody bez možnosti VTOL. Díky rezervě v síle tahu není u tohoto serva nutné uvažovat o silnějším servu pro uvažovanou vzletovou hmotnost 2000 g. Letoun nebude mít naklápací motory,

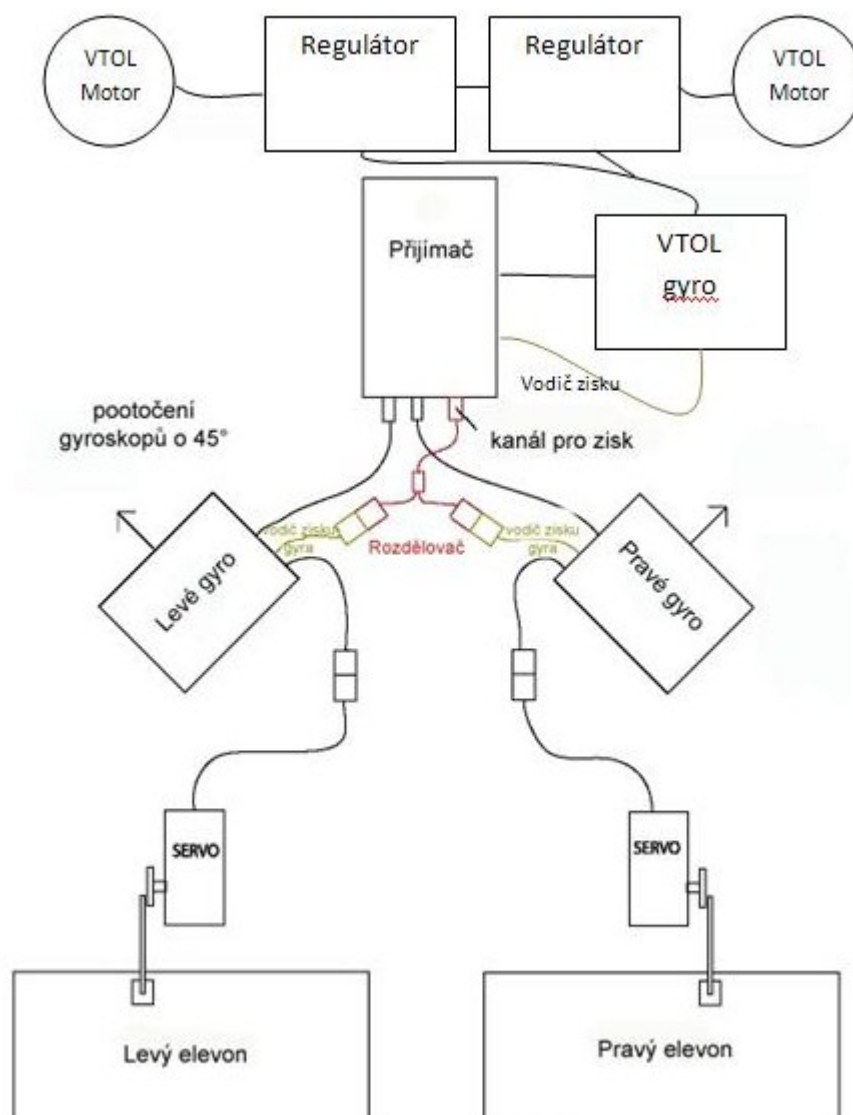
takže není třeba uvažovat o přidání dalšího servomotoru pro tuto činnost. Na obrázku (Obr. 3.3) je zobrazeno blokové schéma zapojení pohonných jednotek v případě VTOL konstrukce.

Typ	Parametry	Cena
<b>Serva</b> 2x HS-A5076HB	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digitální, programovatelné</li> <li>▪ Tah 2,5 kg/cm</li> <li>▪ Rychlost 0,14s/60°</li> <li>▪ Hmotnost 14,3 g /ks</li> <li>▪ Karbonitová převodovka</li> <li>▪ Kuličková ložiska</li> </ul>	559 Kč/ks

*Tabulka 3. 9 Serva pro řízení*

### 3.2.3. Stabilizace letu

Stabilizaci letu lze provádět v případě této metody konstrukce v rovině klopení a klonění stejně jako v předchozím případě pomocí gyroskopů připojených k servům pro naklápění elevonů. Pokud bude letoun v režimu visení, lze použít pro stabilizaci klonění také gyroskop, který bude v případě porывů dávat signál regulátorům, a ty poté pomocí rozdílného tahu motorů vyrovnají letoun. Protože se jedná o statický režim, nemají elevony žádný vliv na řízení letounu v případě VTOL. Částečně však mohou napomáhat v případě klopení, kdy vlivem proudění vzduchu (například protivítr) může vznikat na elevonech vztlak a tím tedy lze do jisté míry klopení vyrovnávat.



Obr. 3. 4 Zapojení stabilizačních gyroskopů

Gyroskop pro metodu řízení elevony s možností VTOL je také možné použít již zmíněný GA-250, který je lehký, malý a levný.

Typ	Parametry	Cena
<b>Gyra</b> 3 ks GA-250	<ul style="list-style-type: none"> <li>MEMS senzor</li> <li>AVCS mod</li> <li>Rate mod</li> <li>Váha 8 g /ks</li> </ul>	570 Kč

Tabulka 3. 10 Doporučený stabilizační gyroskop

### 3.2.4. Příjímač

Na rozdíl od konstrukce bez VTOL musíme použít u této metody minimálně 6 kanálový přijímač. Přidáním motorů pro vertikální vzlet a stabilizačního gyroskopu musíme použít další 2 kanály pro připojení signálu z vysílače pro motory a další kanál pro nastavení zisku přidaného gyra. Tímto se zaplní všechny kanály a není pak možno přidat další funkce jako telemetrická čidla, FPV funkce apod. Doporučuji tedy pro tuto konstrukci mít minimálně 2 kanály v rezervě a použít tak 8 kanálový přijímač. Spolu s tím se samozřejmě zvyšují nároky na vysílač, který musí být z logického důvodu také minimálně 8 kanálový. Těmito požadavky se zvyšuje náročnost na technické zapojení a ovládání. Po ekonomické stránce se potřeba vyššího počtu kanálů projeví jen mírně, protože už při první metodě jsem doporučil 9 kanálový přijímač, takže stále je dostatečná rezerva pro připojení periférií. Problém může nastat u vysílače, kdy 9 kanálové vysílače jsou již trochu dražší oproti 6 kanálovým.

Příjímač	Parametry	Cena
Optima 9	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 9 kanálů</li><li>▪ Telemetrický přenos</li><li>▪ AFHSS kompatibilní</li><li>▪ Programovatelný</li><li>▪ Váha 22 g</li></ul>	1740 Kč
Spektrum DSM2 8CH AR8000	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 8 kanálů</li><li>▪ DSM2 kompatibilní</li><li>▪ Pro rychlá digitální serva</li><li>▪ Telemetrie</li><li>▪ Váha 9,4 g</li></ul>	2300 Kč
OrangeRX R910 <b>Doporučeno</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 9 kanálů</li><li>▪ DSM2 kompatibilní</li><li>▪ Bez telemetrie</li><li>▪ Fail-safe</li><li>▪ Satelitní port</li><li>▪ Váha 14 g</li></ul>	<b>456 Kč</b>

Tabulka 3. 11 Doporučené přijímače

### 3.2.5. Popis řízení systému

Pro řízení tohoto systému je třeba pákový vysílač s minimálně 6 kanály. Pro řízení vertikálního vzletu a následného visení je nutné použít kanál připojený na potenciometr, který umožňuje zachování polohy ovládacího prvku (páky nebo jezdce). Tímto kanálem se bude ovládat tah motorů a musí se tedy jednat o lineární proporcionální kanál, který umožňuje plynulé nastavení velikosti tahu. Pokud by byl tah motorů připojen na ovládací prvek, který neumožňuje setrvání v dané poloze, velmi špatně by se tento letoun řídil, protože při puštění ovládacího prvku by se tento vrátil do neutrální polohy a tím by snížil tah motorů na minimum, nebo by je dokonce vypnul. Žádoucí je tedy aby bylo možné ovládat motory stejně jako klasický tlačný motor v letounu. Jakmile se letoun vznese do požadované výšky, tak pomocí hlavního ovladače plynu (tahu motoru) zapneme do činnosti tlačný motor, který bude pohánět letoun v horizontálním letu. Po přechodu do horizontálního letu je možné vypnout motory pro vertikální vzlet a šetřit tím jejich akumulátory. Při potřebě visení na určitém místě se pak tyto motory opět zapnou a tlačný motor se naopak vypne. V případě silného protivětru je možné nechat tlačný motor na určité úrovni tahu tak, aby letoun při visení setrval na jednom místě a nebyl snášen větrem. Tato kombinace pohonných jednotek zvyšuje celkovou dobu letu, protože vždy je zapnuta pouze jedna pohonná jednotka, případně je druhá jednotka na minimálním výkonu.

Stabilizace horizontálního letu je opět provedena pomocí dvojice gyroskopů, které zajišťují vyrovnávání klopení a klonění v případě, že není z přijímače přiveden řídicí signál pro změnu směru letu.

Vzhledem k možnosti visení je vhodné doplnit sestavu o FPV prvky, aby bylo možné sledovat polohu letounu případně provést záznam sledovaného objektu, nad kterým letoun visí. Také je vhodné přidat k systému telemetrické prvky, které budou zaznamenávat stav akumulátorů, případně aktuální výšku. Obě tyto hodnoty jsou pro operátora nesmírně důležité. Stav akumulátorů pomůže určit zbývající dobu letu a případný „return point“ tedy bod, ve kterém se musí začít letoun vracet, aby stihl doletět k operátorovi dřív, než PCO okruh v regulátoru odpojí motory. Aktuální výška zase napovídá, zda letoun letí opravdu v horizontálním letu nebo pokud je v režimu visení, tak jestli neklesá či nestoupá.

### **3.2.6. Telemetrické údaje**

Pro možnost přenosu telemetrických údajů existují v zásadě 2 možnosti. Jednou z možností je přijímač s vestavěnou funkcí pro přenos telemetrických údajů a k tomu kompatibilní vysílač, který umí tyto data zobrazit. Druhou možností je pak samostatný modul, který zajišťuje přenos těchto dat a externí přijímač s obrazovkou pro zobrazení. U obou případů je však nutné připojit potřebné senzory. Pro záznam dat o akumulátorech stačí pouze přijímač, který má tuto funkci vestavěnou. Pro získání dat o výšce nebo otáčkách motoru je třeba nainstalovat adekvátní senzor. Výška se dá zjistit buď z výškoměru, který určuje výšku nad zemí, nebo pomocí GPS modulu, který určuje výšku nad mořem a navíc také určuje polohu.

Vestavěnou funkci telemetrie lze využít u vysílačů Spektrum nebo Hitec, kde lze přímo na displeji vysílače zobrazovat data. Pro přenos dat je třeba nainstalovat do letounu přijímač s data portem pro připojení telemetrické ústředny. Pomocí této ústředny se pak připojí potřebná čidla a systém je připraven k použití. Cena takového systému vč. vysílače se pohybuje kolem 11 tis. Kč. Pro přehled jsem vytvořil jednoduchou tabulku s funkcemi a cenou systému.

Typ	Funkce	Cena
Spectrum DX8	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 8 kanálový vysílač</li> <li>▪ 8 kanálový přijímač</li> </ul> Telemetrie <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ napětí přijímače</li> <li>▪ napětí baterie</li> <li>▪ teploty motoru/baterií</li> <li>▪ otáčky motoru</li> <li>▪ kvalita signálu</li> </ul>	8550 Kč
Hitec Aurora 9	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 9 kanálový vysílač</li> <li>▪ 9kanálový přijímač</li> </ul> Telemetrie <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Teplotní senzor</li> <li>▪ GPS senzor</li> <li>▪ Optický snímač otáček</li> <li>▪ Magnetický snímač otáček</li> <li>▪ Snímač proudu</li> <li>▪ Snímač napětí</li> </ul>	12111 Kč

*Tabulka 3. 12 Vysílače s vestavěnou telemetrií*

Externí provedení telemetrických přenosů lze uskutečnit pomocí některého ze systémů, které jsou v současné době na trhu. Nejznámější a současně také nejrozšířenější jsou systémy EagleTree a FrSky. Oba tyto systémy fungují jako autonomní systémy, kdy obsahují samostatnou přijímací i vysílací jednotku. K těmto systémům lze snadno připojit externí čidla pro měření různých veličin. K těmto systémům lze také vyrobit vlastní senzory. Výroba takového senzoru však vyžaduje elektrotechnické znalosti a není proto vhodná pro začátečníky. Systém od EagleTree nabízí kromě telemetrických přenosů také možnosti pro FPV, hlavně pak tzv. OSD informace neboli zobrazení informací přímo na displeji. Pokud je použit FPV systém, lze tak vložit telemetrické informace přímo do letového videa a jednoduše tak sledovat veškerá potřebná data a zároveň sledovat průběh letu.



Typ	Funkce	Cena
EagleTree Seagull Pro Wireless Dashboard System	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Záznam dat</li> <li>▪ Teplota, otáčky, GPS</li> <li>▪ Výškoměr, pohyb serv</li> <li>▪ Napětí, proud, kapacita</li> <li>▪ Senzory přetížení</li> <li>▪ Rychlost</li> <li>▪ Propojení s PC</li> <li>▪ Vlastní monitor</li> </ul>	11096 Kč
FrSky DHT-U Telemetry System	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Přenos dat</li> <li>▪ Teplota, otáčky, napětí</li> <li>▪ Proud, výška, GPS</li> <li>▪ Stav paliva, zrychlení</li> <li>▪ Vlastní monitor</li> </ul>	1026 Kč

*Tabulka 3. 13 Externí provedení telemetrie*

Systém EagleTree je vyspělejší systém, který nabízí prakticky komplexní monitoring všech parametrů letounu a letových vlastností. Výhodou je možnost připojení OSD modulu a zobrazování dat přímo na monitoru s videem letu. Nevýhodou je jeho poměrně vysoká cena. Systém FrSky nabízí za 1/10 cenu poměrně slušný systém pro monitoring důležitých parametrů. Tento systém má také poměrně velkou základnu fanoušků, kteří projektují nové funkce a senzory pro tento systém.

### 3.2.7. Ekonomický přehled

Systém s možností VTOL je proti předchozímu systému vhodnější pro pozorovací lety, protože možnost visení umožňuje setrvání v klidu na jednom místě a lépe tak např. zaostřit záznamové zařízení nebo pořízení více snímků jedné oblasti bez nutnosti opakovaného průletu nad oblastí. Nové funkce však znamenají také vyšší náklady na pořízení a provoz systému. Z ekonomického hlediska jsem opět vybral levnější variantu, kdy pohony jsou prakticky srovnatelné s dražší verzí a jejich cena je mnohem nižší. Pro prodloužení doby letu lze i do levnější konfigurace vložit silnější akumulátory, které zvýší celkovou vzletovou hmotnost letounu, ale nepřekročí výkonové možnosti pohonných jednotek.

Celková cena sestavy pro metodu řízení pomocí elevonů s možností VTOL je uvedena v přehledové tabulce 3.14. Z tabulky je patrné, že VTOL funkce navýšila cenu řízení prakticky o 100% oproti verzi bez VTOL. Do této ceny není započítána cena vysílače.

Název	Parametry	Cena
<b>Tlačný motor</b> EMax BL 2815/09	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 920 kv</li> <li>▪ Proud max. 38 A</li> <li>▪ Napětí 3-4 S (11-14 V)</li> <li>▪ Váha 112 g</li> </ul>	531 Kč
<b>VTOL motory</b> 2x Turnigy 2836-1000	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1000 kv</li> <li>▪ Proud max. 30 A</li> <li>▪ Napětí 3-4 S</li> <li>▪ Váha 81 g/ks</li> </ul>	361 Kč/ks
<b>Vrtule</b> APC 10x7 E	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Délka 10"</li> <li>▪ Stoupání 7"</li> <li>▪ Hmotnost 18 g</li> </ul>	69 Kč
<b>VTOL vrtule</b> 2x GWS HD 9x5	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Délka 9"</li> <li>▪ Stoupání 5"</li> <li>▪ Hmotnost cca 15 g/ks</li> </ul>	79 Kč/sada 2 ks
<b>Regulátor</b> 3x Turnigy Plush 40 A	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Stálý proud 40 A</li> <li>▪ Max. proud 55 A</li> <li>▪ Hmotnost 33 g/ks</li> </ul>	418 Kč/ks
<b>Akumulátor</b> Polyquest 3300mAh 20 C	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kapacita 3000 mAh</li> <li>▪ Uspořádání 4S</li> <li>▪ Napětí 14,8 V</li> <li>▪ Vybíjecí proud 25 C</li> <li>▪ Hmotnost 350 g</li> </ul>	1311 Kč
<b>VTOL akumulátory</b> 2x Turnigy 1600 mAh	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kapacita 1600 mAh</li> <li>▪ Vybíjecí proud 20 C</li> <li>▪ Hmotnost 137 g/ks</li> </ul>	247 Kč/ks
<b>Serva</b> 2x HS-A5076HB	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digitální, programovatelné</li> <li>▪ Tah 2,5 kg/cm</li> <li>▪ Rychlost 0,14s/60°</li> <li>▪ Hmotnost 14,3 g /ks</li> <li>▪ Karbonitová převodovka</li> <li>▪ Kuličková ložiska</li> </ul>	1118 Kč
<b>Gyra</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MEMS senzor</li> </ul>	570 Kč

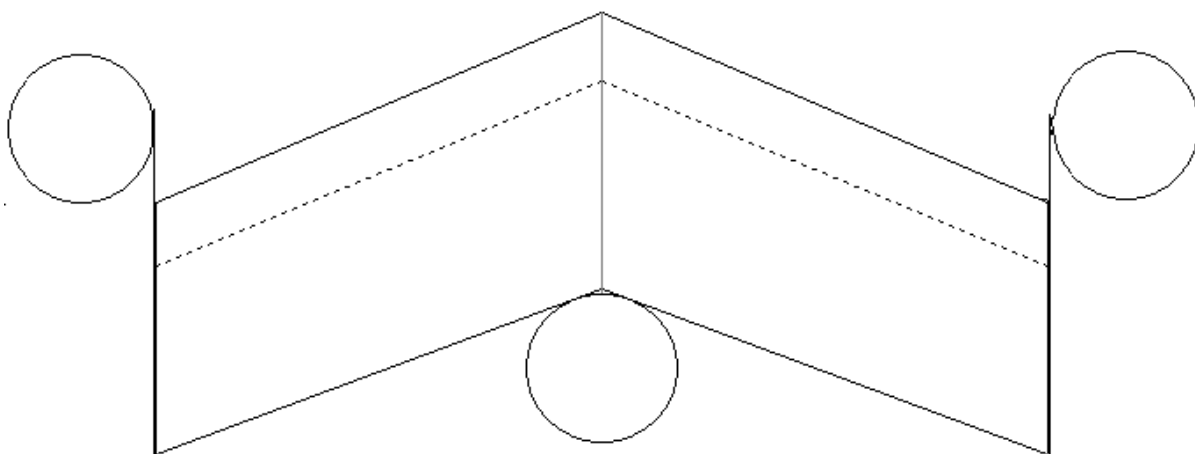
3 ks GA-250	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ AVCS mod</li> <li>▪ Rate mod</li> <li>▪ Váha 8 g /ks</li> </ul>	
<b>Přijímač</b> (bez telemetrie) OrangeRX R910	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 9 kanálů</li> <li>▪ DSM2 kompatibilní</li> <li>▪ Bez telemetrie</li> <li>▪ Fail-safe</li> <li>▪ Satelitní port</li> <li>▪ Váha 14 g</li> </ul>	456 Kč
<b>Přijímač</b> (pro možnost telemetrie) Spektrum DSM2 8CH AR8000	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 8 kanálů</li> <li>▪ DSM2 kompatibilní</li> <li>▪ Pro rychlá digitální serva</li> <li>▪ Telemetrie</li> <li>▪ Váha 9,4 g</li> </ul>	2300 Kč (obsažena v ceně vysílače)
<b>Vysílač</b> Spectrum DX8	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 8 kanálový vysílač</li> <li>▪ 8 kanálový přijímač</li> </ul> Telemetrie <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ napětí přijímače</li> <li>▪ napětí baterie</li> <li>▪ teploty motoru/baterií</li> <li>▪ otáčky motoru</li> <li>▪ kvalita signálu</li> </ul>	8550 Kč
	Celková hmotnost <b>1107 - 1112g</b> (bez vysílače)	Celková cena <b>6604 Kč</b> (bez vysílače a telemetrie) Celková cena <b>14698 Kč</b> (s vysílačem a telemetrií)

Tabulka 3. 14 Celkový přehled komponent pro metodu s VTOL

### 3.3.Řízení pomocí motorů s možností vertikálního vzletu

Metoda řízení letounu pouze pomocí pohonných jednotek a s možností VTOL je konstrukčně zřejmě nejzajímavější a také nejsložitější metodou, kterou jsem zahrnul do své diplomové práce. Řízení budu aplikovat na konstrukci samokřídla, kterou ve své diplomové práci prezentuje Bc. Martin Bičan. S Martinem spolupracujeme na vytvoření kompletního letounu, který bude typu křídlo a bude mít možnost vertikálního vzletu. Pro metodu vertikálního vzletu je uvažována koncepce otočných motorů, které díky možnosti změny vektoru tahu budou schopné tímto způsobem ovládat směr letu. Konstrukce nepočítá s žádnými řídicími plochami typu elevony jako jsem uváděl v předchozích dvou metodách.

Konstrukce je koncipována jako 3motorová soustava uložená do tvaru trojúhelníku, kdy 2 motory budou uloženy na pylonech na koncích křídel a budou blíž náběžné hraně křídla. Tyto motory budou použity pro vertikální vzlet a poté budou překonfigurovány do pozice tažných motorů. Poslední motor bude uložen uprostřed letounu na konci odtokové hrany křídla a bude sloužit jako tlačný a zároveň také vyvažovací motor.



Obr. 3. 5 Návrh rozložení motorů v konstrukci od Bc. Martina Bičana

Technické parametry křídla jsem převzal od Martina z jeho diplomové práce. Dimenzování prvků řízení a řídicí elektroniky budu přizpůsobovat právě těmto parametrům.

Kořenový profil	MH 61
Koncový profil	MH 61
Rozpětí křídel	1841 mm
Úhel šípů vztažený k náběžné hraně	23°
Hmotnost křídla	5 kg
Hloubka kořenového profilu	570 mm
Hloubka koncových profilů	520 mm
Tloušťka kořenového profilu	58,596 mm
Tloušťka koncových profilů	53,456 mm
Programem vypočtená plocha křídla	1,003344 m <sup>2</sup>

### 3.3.1. Pohonné jednotky

Mezi hlavní parametry pro výběr komponent tohoto systému je bezesporu hmotnost letounu, která v tomto případě činí 5 kg. S ohledem na tuto hmotnost je nutné dimenzovat pohonné jednotky a také ovládání těchto jednotek. Martin ve své práci provedl analýzu vhodných pohonů vč. výběru vrtule. V tabulce 3.15 jsou vhodné motory pro tuto konstrukci. Vzhledem k celkové hmotnosti 5 kg je nutné počítat s tahovou rezervou. Tato rezerva činí 1 kg nad vzletovou hmotnost. Minimální tah je tedy 6 kg. V počtu 3 motorů je tedy minimální statický tah pro jednu pohonnou jednotku 2000 g. Pro výběr pohonných jednotek byl použit také program Drive Calculator. Pro výběr byla použita vrtule 13x8 APC E V2. V kombinaci s touto vrtulí pak byly vybírány motory. Motory v tabulce tyto požadavky splňují a lze tedy uvažovat o jejich použití pro tuto konstrukci.

	Elektromotor				
	Dymond Master HQ – 3651 (700)	Kontronik KIRA 400- 34/5,2:1	AXI 2826- 12	RS- E295.20/15	Plettenberg Orbit 20-16
Hmotnost	180 g	162 g	178 g	175 g	215 g
Příkon	313,4 W	271,5 W	311,5 W	281,5 W	291,1 W
Účinnost pohonu	78,8 %	84,2 %	79,5 %	82,7 %	82,3 %
Tahová účinnost	6,8 g/W	7,4 g/W	6,9 g/W	7,3 g/W	7,2 g/W
Statický tah	2134 g	2018 g	2137 g	2046 g	2088 g
Proud	28,2 A	24,5 A	28,1 A	25,4 A	26,2 A

Tabulka 3. 15 Přehled motorů pro VTOL

S ohledem na proudový odběr motoru a jeho hmotnost Martin doporučuje použití motoru Kontronik KIRA 400-34 s použitím převodovky 5,2:1 a regulátor Kontronik Jazz 80-6-18. V tabulkách (doplnit č. tabulek) uvedu ekonomickou stránku tohoto pohonu a také pohonu, který s ohledem na finance navrhuji já. Vzhledem k úvaze, že letoun bude pro vertikální vzlet používat všechny 3 motory, je vhodné použít pro pohon stejných motorů a celkově stejné konfigurace pro všechny pohony. Stačí tedy nalézt pouze jednu sestavu místo např. 2 sestav pro metodu s tlačným motorem.

Název	Parametry	Cena
<b>Motor</b> 3x Kontronik KIRA 400- 34/5,2:1	<ul style="list-style-type: none"> <li>3400 kv</li> <li>Proud max. 45 A</li> <li>Váha 162 g/ks</li> </ul>	4400 Kč/ks
<b>Vrtule</b> 3x APC 13x8 E V2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Délka 13"</li> <li>Stoupání 8"</li> <li>Hmotnost 25 g/ks</li> </ul>	149 Kč/ks
<b>Regulátor</b> 3x Kontronik Jazz 80-6-18	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stálý proud 80 A</li> <li>Max. proud 100 A</li> <li>Hmotnost 59 g/ks</li> </ul>	5320 Kč/ks
<b>Akumulátor</b> 3x Turnigy 3000 mAh 20 C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kapacita 3000 mAh</li> <li>Uspořádání 4S</li> <li>Napětí 14,8 V</li> <li>Vybíjecí proud 20 C</li> <li>Hmotnost 337 g/ks</li> </ul>	361 Kč/ks
	Celková hmotnost <b>1749 g</b>	Celková cena <b>30690 Kč</b>

Tabulka 3. 16 Konfigurace pohonné sestavy od Bc. Martina Bičana

Název	Parametry	Cena
<b>Motor</b> 3x Turnigy 35-48-C	<ul style="list-style-type: none"> <li>800 kv</li> <li>Proud max. 55 A</li> <li>Váha 163 g/ks</li> </ul>	350 Kč/ks
<b>Vrtule</b> 3x APC 12x8 E	<ul style="list-style-type: none"> <li>Délka 12"</li> <li>Stoupání 8"</li> <li>Hmotnost 23 g/ks</li> </ul>	100 Kč/ks
<b>Regulátor</b> 3x Turnigy Plush 60A	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stálý proud 60 A</li> <li>Max. proud 80 A</li> <li>Hmotnost 60 g/ks</li> </ul>	665 Kč/ks
<b>Akumulátor</b> 3x Turnigy 3000 mAh 20 C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kapacita 3000 mAh</li> <li>Uspořádání 4S</li> <li>Napětí 14,8 V</li> <li>Vybíjecí proud 20 C</li> <li>Hmotnost 337 g/ks</li> </ul>	361 Kč/ks
	Celková hmotnost <b>1749 g</b>	Celková cena <b>4428 Kč</b>

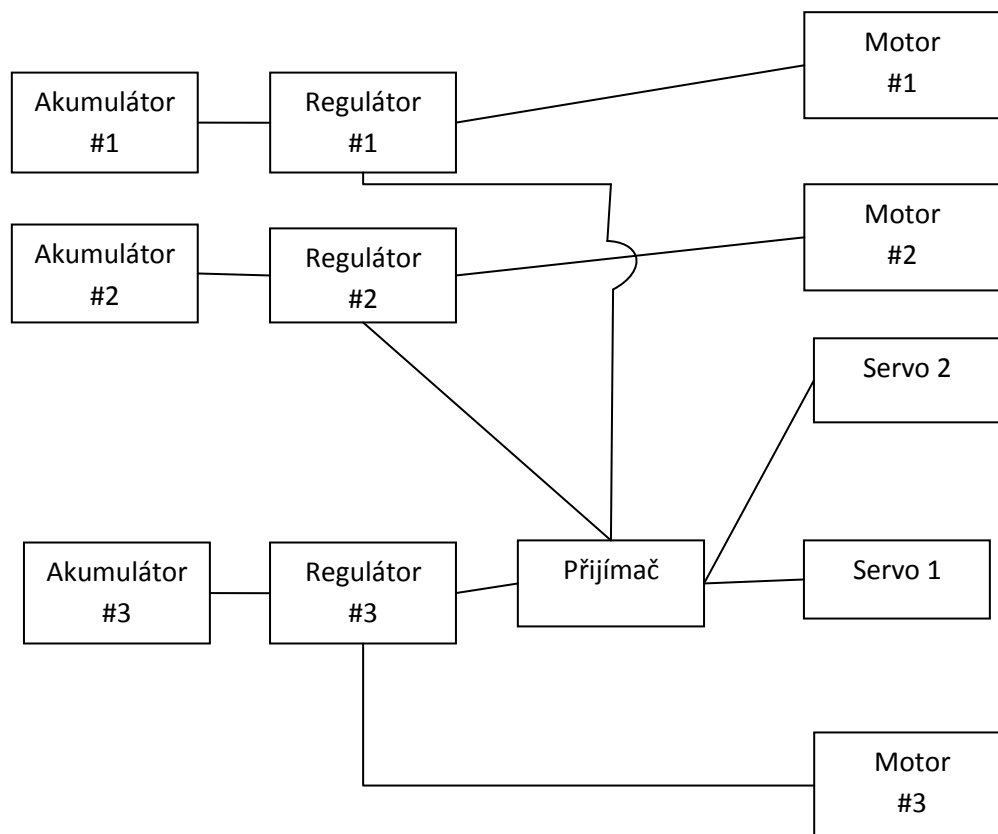
Tabulka 3. 17 Konfigurace pohonné sestavy pro řízení motory s VTOL

Z tabulky je zjevně vidět, že po ekonomické stránce je mé řešení pohonu výhodnější. Parametry obou konfigurací jsou srovnatelné, váhově dokonce vyšly obě naprosto stejně. Doba letu s daným akumulátorem a při plném výkonu je v případě motorů Kontronik 4min 45 s. Doba letu pro motory Turnigy je 4min 25s. Rozdíl 20s je téměř zanedbatelný. Celková cena mnou navržené sestavy je však více než 6x levnější. Za cenu jedné sestavy s motory Kontronik KIRA bychom mohli postavit 6 letounů s motory Turnigy. Co se týká hlediska spolehlivosti, tak u první sestavy je použita převodovka, což je další mechanická součástka, která se opotřebovává a může se tedy pokazit. Celkově si tak myslím, že spolehlivost obou sestav je na srovnatelné úrovni, pokud budu uvažovat s nižší spolehlivostí levnějších motorů.

### 3.3.2. Ovládání letounu

Pro ovládání řízení letounu pomocí motorů s možností VTOL je třeba umožnit nezávislé ovládání každého motoru zvlášť. Motory budou pro vzlet nastaveny do vertikální pozice. Jakmile letoun vzlétne do požadované bezpečné výšky (výška kdy letoun při překlápění motorů nespadne na zem), dojde k rekonfiguraci motorů na horizontální let. Motory se tedy naklopí do vodorovné pozice a tím se stanou tažnými motory pro letoun. Naklápění motorů bude realizováno pomocí servomotorů, které budou umístěny v koncích

křídél. Naklápět se boudou pouze 2 přední motory a třetí motor zůstane v pozici pro vertikální vzlet. Díky možnosti naklápění každého motoru zvlášť a také změny velikosti tahu pro každý motor je tedy možné ovládat klonění, klopení a bočení letounu.



Obr. 3. 6 Blokové schéma zapojení elektroniky pro řízení motory s VTOL

Pro natáčení motorů je nutné vybrat dostatečně silná serva, která zvládnou otočit motor i při plném výkonu, kdy motor dává více než 2000 g tahu. Servomotory tedy musí utáhnout minimálně 1,1 násobek tahu motoru což v případě motorů Turnigy z tabulky 3.17 činí 2084 g. Tah serva tedy musí být alespoň 2300 g (zaokrouhlená hodnota). Pro větší jistotu je však vhodné zvolit vyšší koeficient. Já tedy volím koeficient 1.3, což dává hodnotu tahu serva 2700 g. Pro možnost nastavení natáčení je vhodné zvolit programovatelné servo. Tuto možnost mají pouze serva digitální, takže výběr bude orientován na digitální servo s tahem min. 2,7 kg a pokud možno s co nejnížší hmotností. Dále je vhodné zvolit serva s kovovými převody, aby byla zajištěna vysoká spolehlivost a nemohlo dojít ke stržení ozubení převodovky.



Typ	Parametry	Cena
2x HS-5085MG	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Programovatelné</li> <li>▪ Digitální</li> <li>▪ Tah 3kg/cm při 4,8V</li> <li>▪ Rychlost 0,17s/60°</li> <li>▪ Kuličková ložiska</li> <li>▪ Kovové převody</li> <li>▪ Hmotnost 22 g/ks</li> </ul>	740 Kč/ks

Tabulka 3. 18 Doporučené servo pro řízení

### 3.4. Stabilizace letu

Stabilizace letu může být provedena v jednodušší formě pouze pomocí gyroskopů podobně, jako v předchozích dvou metodách. Sofistikovanější verzí stabilizace je použití řídicí jednotky, která bude ovládat motory pomocí signálů z externích senzorů. Tyto senzory mohou být také gyroskopy nebo třeba také akcelerometry či data z GPS senzoru nebo výškoměru.

Pro stabilizaci pomocí gyroskopů je třeba použít 3 gyra, která budou připojena sériově k motorům. Nastavení zisku je připojeno na jeden kanál, tak aby všechny gyroskopy měly stejný zisk a stabilizace tak mohla být rovnoměrná. I pro tuto konstrukci je možné využít levnější gyroskopy GA-250.

Typ	Parametry	Cena
<b>Gyra</b> 3 ks GA-250	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MEMS senzor</li> <li>▪ AVCS mod</li> <li>▪ Rate mod</li> <li>▪ Váha 8 g /ks</li> </ul>	190 Kč/ks

Tabulka 3. 19 Stabilizační gyroskop

Pro použití stabilizace na vyšší úrovni je nutné použít řídicí jednotku, která bude tuto funkci zajišťovat. Dnes existuje více variant řídicích jednotek, které se používají hlavně v tzv. multicopterech, což jsou vícerotorová létající zařízení. Tyto řídicí jednotky jsou vyvíjeny pro 3 a více rotorová zařízení, takže je lze použít i pro aplikace na letounu typu křídlo, které má 3 motory a je jimi řízeno. Konkrétně pro aplikaci na tomto letounu bude třeba mírně modifikovat řídicí program jednotky. Díky využití programovatelného mikroprocesoru na této jednotce, není příliš velký problém tuto jednotku upravit pro konkrétní využití. Nevýhodou je, že se musí napsat nový program resp. upravit stávající program pro konkrétní potřebu.

Mezi známé projekty patří ArduPilot, což je systém pro autonomní řízení letu. Je založen na open-source programovacím prostředí ve kterém jsou projektovány řídicí jednotky nejen pro multicoptery. Řídicí jednotka se skládá ze základní desky s mikroprocesorem a nahraným programem. Celá jednotka s již kompletně složenou základní deskou a nahraným softwarem je k dostání za 200 dolarů, což je přibližně 3800 Kč. Systém nabízí možnost základní stabilizace do horizontálního letu a ovládání pilotem. Další možností je autopilot s průletem skrze nastavené 3D body tratě (lze nastavit i výšku bodu) nebo RTL (return to leave) mód, který umožňuje návrat letounu na místo startu a následné kroužení nad tímto místem. Velikou výhodou tohoto projektu je možnost úpravy softwaru (díky open-source politice) a tím i přizpůsobení téměř jakékoliv aplikaci. K systému lze dokoupit také sadu pro telemetrické přenosy nebo pozemní stanici a změnit tak téměř každé letadlo na plně autonomní UAV systém.

### 3.5. Přijímač

Systém řízení pomocí 3 motorů vyžaduje přijímač, který bude mít minimálně 6 kanálů. 3 kanály pro řízení motorů, 2 kanály pro řízení naklápění pomocí serv a 1 kanál pro nastavení zisku gyroskopů. Vhodným kandidátem pro tuto aplikaci je již několikrát zmíněný přijímač OrangeRx R910, který nabízí 9 kanálů a vyznačuje se nízkou cenou i hmotností. Vzhledem k faktu, že pro řízení této sestavy je třeba vysílač, který umožňuje tzv. heli mód, neboli řízení vrtulníků, je dle mého názoru vhodnější koupit celou RC soupravu Spektrum DX8, která obsahuje nejenom vysílač s módy pro vrtulníky, ale také obsahuje 8 kanálový přijímač AR8000 s podporou telemetrických přenosů.

Přijímač	Parametry	Cena
Optima 9	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 9 kanálů</li> <li>▪ Telemetrický přenos</li> <li>▪ AFHSS kompatibilní</li> <li>▪ Programovatelný</li> <li>▪ Váha 22 g</li> </ul>	1740 Kč
Spektrum DSM2 8CH AR8000 <b>Doporučeno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 8 kanálů</li> <li>▪ DSM2 kompatibilní</li> <li>▪ Pro rychlá digitální serva</li> <li>▪ Telemetrie</li> <li>▪ Váha 9,4 g</li> </ul>	<b>2300 Kč</b>

OrangeRX R910	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 9 kanálů</li> <li>▪ DSM2 kompatibilní</li> <li>▪ Bez telemetrie</li> <li>▪ Fail-safe</li> <li>▪ Satelitní port</li> <li>▪ Váha 14 g</li> </ul>	456 Kč
---------------	---	--------

*Tabulka 3. 20 Doporučené přijímače*

### 3.5.1. Popis řízení letounu

Letoun bude řízen pomocí pákového ovladače (klasický letecký RC vysílač). Řízení letounu bude prováděno ve 2 módech.

První mód bude pro vertikální vzlet. V tomto módu se letoun bude chovat jako vrtulník, kdy vertikální pohyb bude prováděn pomocí páky plynu, který bude rovnoměrně zvyšovat otáčky na všech motorech. Tímto bude zajištěna funkce VTOL. V režimu VTOL je možné také ovládat pohyb letounu vpřed případně do stran stejně, jako je tomu u vrtulníků. Pro pohyb vpřed se sníží tah motorů na přední části letounu a zvýší se tah motoru na zadní části. Pro klonění se naopak budou diferenciatně měnit tahy motorů na levé a pravé části křídla. Díky této funkci je možné manévrovat i v režimu VTOL a jednoduše tak měnit polohu letounu. Nevýhodou tohoto řešení je vysoká energetická náročnost a vysoký odpor vzduchu při pohybu.

Druhý mód je pro pohyb v horizontálním směru, tedy klasický let křídla. V tomto módu dojde k překlopení předních motorů do vodorovné pozice. Překlopením se změní vektor tahu motorů a tím se stanou tažnými motory křídla. Klopení křídla bude prováděno pomocí naklápění motorů ve vertikální rovině, tedy změna vektoru tahu nahoru či dolů. Pro možnost klonění bude využito také změny vektoru tahu motorů na levé a pravé straně. Naklopením jednoho motoru směrem dolů a druhého motoru směrem nahoru dojde ke klonění křídla. Současně lze využít také možnosti rozdílného tahu těchto motorů, což usnadní klonění letounu. Pro řízení bočení je využito změny tahu motorů ve vodorovné pozici. Pro bočení je tedy nutné změnit tah tak, že na jednom motoru se sníží a na druhém naopak zvýší tah, čímž dojde k otáčení kolem svislé osy letounu.

Přepínání těchto módů musí být umožněno na vysílači, což znamená, že je nutné naprogramovat funkce tak, aby se při přepnutí režimů změnily ovládací prvky.

### 3.5.2. Ekonomický přehled

Z ekonomického hlediska se jedná o nejdražší metodu řízení. Jedná se však také o nejvýkonnější sestavu, která je schopná zvednout až 6 kg a po dobu cca 4,5 min je možné viset s touto zátěží ve vzduchu. Cenově výhodnější je v tomto případě jednoznačně sestava s motory Turnigy.

Název	Parametry	Cena
<b>Motor</b> 3x Turnigy 35-48-C	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 800 kv</li><li>▪ Proud max. 55 A</li><li>▪ Váha 163 g/ks</li></ul>	350 Kč/ks
<b>Vrtule</b> 3x APC 12x8 E	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Délka 12“</li><li>▪ Stoupání 8“</li><li>▪ Hmotnost 23 g/ks</li></ul>	100 Kč/ks
<b>Regulátor</b> 3x Turnigy Plush 60A	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Stálý proud 60 A</li><li>▪ Max. proud 80 A</li><li>▪ Hmotnost 60 g/ks</li></ul>	665 Kč/ks
<b>Akumulátor</b> 3x Turnigy 3000 mAh 20 C	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Kapacita 3000 mAh</li><li>▪ Uspořádání 4S</li><li>▪ Napětí 14,8 V</li><li>▪ Vybíjecí proud 20 C</li><li>▪ Hmotnost 337 g/ks</li></ul>	361 Kč/ks
<b>Servo</b> 2x HS-5085MG	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Programovatelné</li><li>▪ Digitální</li><li>▪ Tah 3kg/cm při 4,8V</li><li>▪ Rychlost 0,17s/60°</li><li>▪ Kuličková ložiska</li><li>▪ Kovové převody</li><li>▪ Hmotnost 22 g/ks</li></ul>	740 Kč/ks
<b>Gyra</b> 3 ks GA-250	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ MEMS senzor</li><li>▪ AVCS mod</li><li>▪ Rate mod</li><li>▪ Váha 8 g /ks</li></ul>	190 Kč/ks
<b>Přijímač</b> Spektrum DSM2	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 8 kanálů</li><li>▪ DSM2 kompatibilní</li></ul>	2300 Kč

8CH AR8000	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pro rychlá digitální serva</li> <li>▪ Telemetrie</li> <li>▪ Váha 9,4 g</li> </ul>	
<b>Vysílač</b> Spektrum DX8	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 8 kanálový vysílač</li> <li>▪ 8 kanálový přijímač</li> </ul> Telemetrie <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ napětí přijímače</li> <li>▪ napětí baterie</li> <li>▪ teploty motoru/baterií</li> <li>▪ otáčky motoru</li> <li>▪ kvalita signálu</li> </ul>	8551 Kč (v ceně i přijímač)
	Celková hmotnost <b>1826 g</b> (bez vysílače)	Celková cena <b>8778 Kč</b> (bez vysílače) Celková cena <b>15029 Kč</b> (s vysílačem)

*Tabulka 3. 21 Celkový přehled komponent pro metodu řízení motory s VTOL*

Výše uvedená celková cena je počítána při použití stabilizace pomocí gyroskopů a bez použití jakýchkoliv FPV prvků. Pro stabilizaci letounu pomocí řídicí jednotky by cena vzrostla řádově o 5 tisíc korun.

## **4. Realizace projektu**

Pro realizaci projektu jsem vybral metodu řízení pomocí motorů s možností VTOL. Vybíral jsem na základě faktu, že je dostupná konstrukce, která je v této metodě popsána. Konstrukci provedl Bc. Martin Bičan, se kterým spolupracuji na celém tomto projektu. Při realizaci se pokusím zapojit všechny prvky systému tak, aby letoun byl schopen letu a tudíž byl projekt dokončen. Pro zdárné zprovoznění systému jsou základní předpoklady, že se mi podaří sehnat veškeré potřebné komponenty. V případě potíží s dostupností se pokusím najít alternativu, která by co nejvíce odpovídala představeným prvkům. Do konstrukce je třeba umístit veškeré prvky pro řízení. Natáhnout kabeláž k řídícím motorům, zapojit všechny stabilizační prvky a také umístit do konstrukce pohonné akumulátory. Po zapojení je třeba systém otestovat a nastavit veškeré potřebné výchylky serv a seřídít nastavení regulátorů. Po spárování RC soupravy lze také odzkoušet, zda jsou povely z vysílače správně přenášeny na výkonné prvky sestavy. Pokud systém bude vykazovat známky správného fungování, je možné provést letové zkoušky.

### **4.1. Představení výsledku**

Při samotné realizaci jsem se setkal hned s několika problémy, které značně zredukovaly výslednou fázi celého projektu.

Prvním problémem, se kterým jsem se potkal, je dostupnost jednotlivých dílů systému. Motory, vybrané pro tuto konstrukci již bohužel nejsou v nabídce obchodů. Je možné použít alternativní motory, které však nejsou tak výkonné jako motory původní. Záměnou motorů by došlo ke snížení vzletové hmotnosti a systém by tak nebylo možné použít pro již zmiňovanou konstrukci od Martina Bičana. Jednou z možností bylo použít systém se slabšími motory na jiném letounu, aby se dala ověřit jeho principiální funkčnost. Pro tuto možnost však nebyly vytvořeny žádné podklady a vybrat novou konstrukci pro realizaci nebylo v daném časovém rámci možné. Většina komponent pro systém byla vybírána na zahraničním webovém portálu a díly jsou tak uloženy v zahraničních skladech. Většina těchto skladů je v Číně nebo v Americe. Vzhledem k poloze skladů je časová dostupnost dílů velmi dlouhá, tudíž doručení komponent by trvalo přes 1 měsíc. Navíc tyto zásilky musí projít celním řízením, což také navyšuje nejen doručovací dobu, ale také navyšuje náklady na pořízení jednotlivých dílů.

Dalším problémem projektu bylo jeho financování. Částka za jednotlivé komponenty dosahuje hranice cca 16000 Kč. Při celním řízení se tato částka o určitou část ještě navýší. Projekt mohl být financován Institutem dopravy, jenže pro účetní případ je nutné doložit

fakturu. Při objednávce ze zahraničí je mírnou komplikací tuto fakturu získat. Pro objednání zboží je také nutné tuto objednávku ihned zaplatit. Ze svých financí nejsem schopen uvolnit takovou částku, abych mohl celou objednávku zaplatit. Pokud objednávku nezaplatím, nedostanu fakturu a škola mi tedy nic neproplatí. Takže se jedná o takový začarovaný kruh.

Pro realizaci se mi však podařilo sehnat 3osý gyro senzor, který jsem použil místo 3ks jednoosých gyroskopů. Jedná se o MEMS senzor použitý v ovladači pro herní konzoli (Obr.4.3). Také jsem sehnal 3osý akcelerometr, který byl opět původně použit v herním ovladači pro konzoli. Jako řídicí jednotku jsem použil Arduino Uno s čipem Atmega 328P (Obr.4.2). Jedná se o vývojovou platformu pro elektronické konstrukce, výhodou je jednoduché zapojení různých periférií pomocí externího nepájivého propojovacího pole. Po připojení Arduino Uno k počítači pomocí klasického USB B konektoru lze do čipu nahrát požadovaný program. Pro nahrávání a kompilaci programu jsem použil Arduino IDE prostředí ve verzi 1.0.

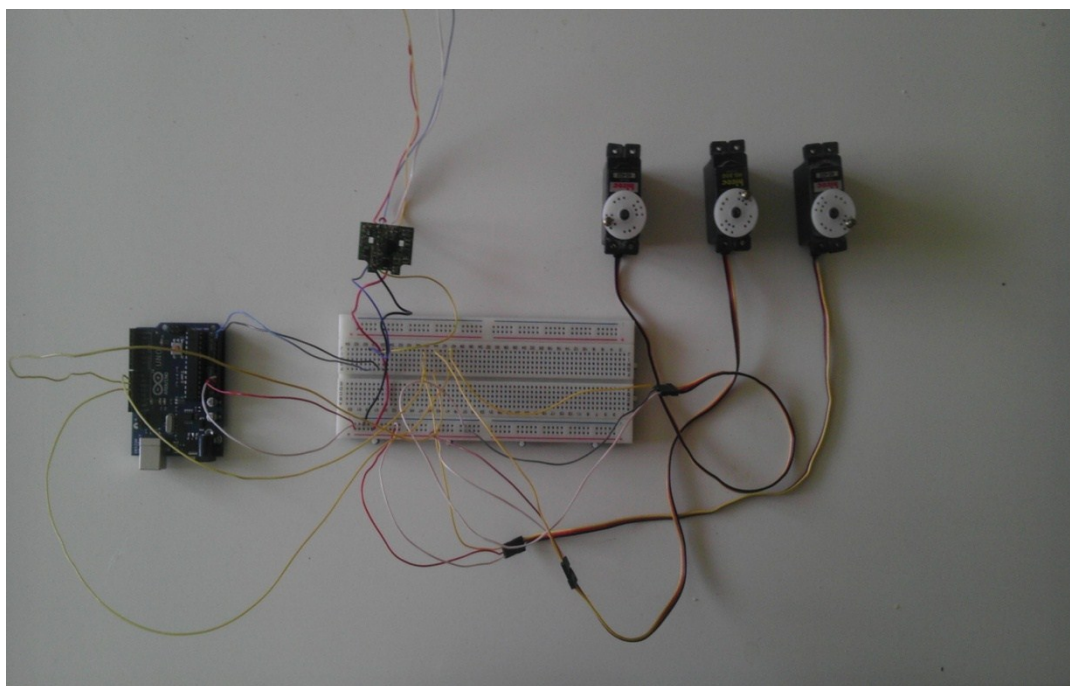
Propojením senzoru, řídicí jednotky (Arduino Uno) a servomotorů se mi podařilo vytvořit velmi jednoduchý stabilizační systém (Obr.4.1). Princip systému spočívá ve snímání výchylky polohy senzoru od počáteční polohy a následné přenášení dat na servomotory, které se následně vychýlí proti směru pohybu. Tímto dojde k vyrovnání letounu.

Při realizaci jsem se také potýkal s technickými problémy, které spočívaly v mé schopnosti práce s pájkou a absenci pájecí stanice na velmi malé spoje. Veškeré kontakty jsem musel provádět pomocí trafopájkky, což mi značně stěžovalo práci. Při následném testování jsem také musel být velmi trpělivý, protože po připojení senzoru jsem nedostal žádnou odezvu. Po několikerém zkoušení jsem zjistil, že vodič připojený k senzoru na pin GND (země) je připojený ke špatnému pinu a tudíž tento senzor nemohl fungovat korektně. Po opětovném připájení ke správnému pinu již senzor pracuje.

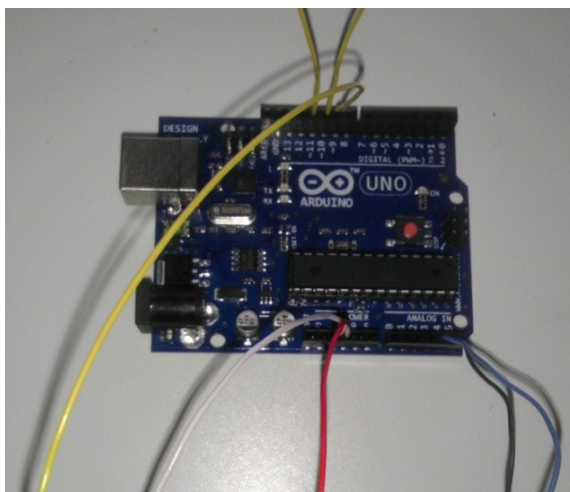
Dosavadním výsledkem je tedy jednoduchý stabilizační systém schopný pracovat ve 3 osách. Z důvodu absence ostatních komponent jsem nemohl vyzkoušet ovládání motorů a jejich součinnost se stabilizací.

## 4.2. Popis funkčnosti

Funkčnost systému řízení je momentálně velmi omezená a nelze jej přímo aplikovat na letoun. Pro fungování řízení je třeba připojit pohonné jednotky a přijímač pro dálkové řízení letounu. Je nutné napsat řídicí program pro součinnost motorů a stabilizačního systému. Funkce systému je pak třeba řádně otestovat a následně implementovat na letoun pro praktické letové zkoušky.

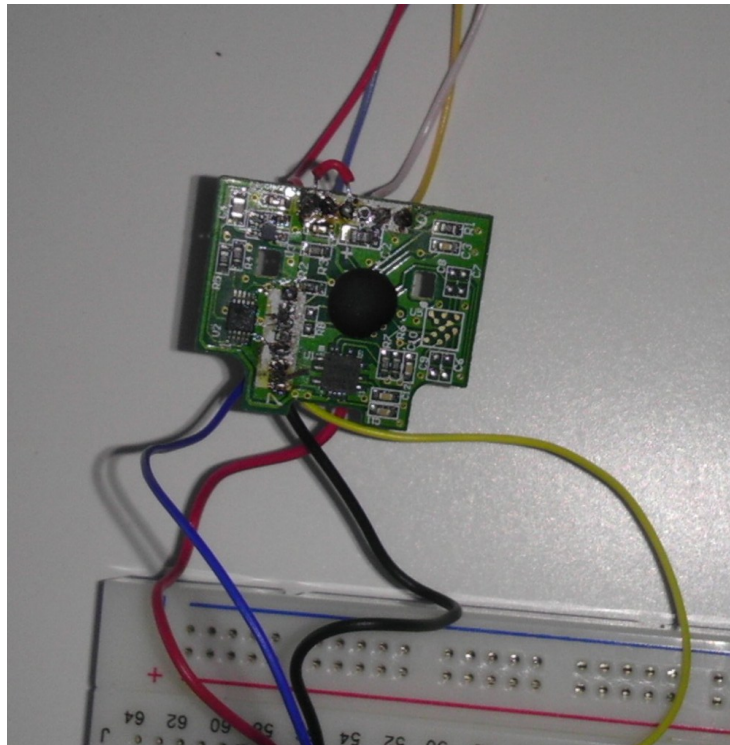


*Obr. 4. 1 Testovací sestava stabilizačního systému*



*Obr. 4. 2 Řídicí jednotka*





*Obr. 4. 3 Gyro senzor*

## 5. Zhodnocení cílů

V první části mé diplomové práce jsem provedl analýzu současného stavu trhu a tím i možností pro využití různých komponent pro tvorbu systému řízení pro UAV typu křídlo. Analýza obsahovala přehled veškerých potřebných prvků pro řízení i s vysvětlením jejich funkce v systému. V tabulkách jsem uvedl výběr některých komponent, které současný trh nabízí s porovnáním jejich parametrů a orientačních cen. Analýzou jsem tak získal přehled, který jsem dále zužitkoval při tvorbě metod řízení pro jednotlivé konstrukce.

Dalším cílem, který jsem si stanovil, bylo vytvoření několika metod pro řízení letounů s různými konstrukcemi. V tomto bodě jsem vytvořil 3 metody pro řízení samokřídla. Dvě metody byly pro konstrukci s elevony a jedna pomocí vektorování tahu motorů. Také dvě z těchto metod měly možnost VTOL. U každé metody jsem provedl výběr vhodné pohonné soustavy ve 2 různých konfiguracích, které se lišily hlavně ekonomickou stránkou. Také jsem u každé metody navrhnul systém základní stabilizace letu a ukázal možnost, jak vytvořit částečně autonomní systém řízení. V některých případech jsem představil možnost, jakou lze řídit letoun i ve větších vzdálenostech za pomoci FPV prvků. Povedlo se mi tedy vytvořit různé metody řízení a vybrat z nich jednu, která se dala aplikovat a realizovat. Metodu jsem vybral s ohledem na ekonomičnost a praktičnost každé konstrukce.

Samotná realizace řízení do fyzické podoby je mnohem složitější, než jsem předpokládal. Z finančních a také časových možností je v tuto chvíli projekt ve fázi nákupu komponent a částečně je hotový stabilizační systém pro vodorovný ustálený let.

Hlavním cílem bylo realizovat projekt UAV typu křídlo a vytvořit k němu metodu řízení. Tento cíl se mi podařilo z větší části naplnit a projekt jsem na teoretické úrovni dovedl ke zdárnému konci. Při realizaci se mi povedlo v testovací podobě zprovoznit systém pro stabilizaci letounu. Za pomoci dílčích cílů jsem vytvořil komplexní přehled, jakými způsoby lze řídit letoun UAV, který je konstruován jako samokřídlo. Vybral jsem konkrétní metodu a tu následně implementoval do konstrukce, kterou navrhl Bc. Martin Bičan. Samotná fyzická realizace bohužel není k dnešnímu dni 20. 5. 2012 kompletní, avšak stále na projektu pracuji a doufám, že se mi podaří celou mou myšlenku dotáhnout do konce a že letoun bude schopen autonomního letu s kolmým startem.

## 6. Závěr

Celá diplomová práce se věnovala konstrukci letounu, který je koncipován jako samokřídlo a jedná se o UAV letoun. Pro tuto konstrukci byl proveden výběr metody řízení. Letouny UAV jsou budoucností pro možnosti kartografických průzkumů, policejních aplikací, monitorování dopravy nebo průzkum nebezpečných či špatně dostupných míst. Přestože letouny typu UAV nejsou zatím příliš rozšířené, existuje velmi široké spektrum jejich možného využití. V dnešní době existuje relativně velká skupina lidí z řad řekněme civilistů, kteří se zajímají o tuto problematiku. Díky této komunitě vznikají nové a nové možnosti pro řízení těchto letounů. Koncepce samokřídla jako UAV s možností kolmého vzletu skýtá velké možnosti, protože kombinuje výhody rychlého horizontálního letu klasických letadel a zároveň možnost visení na jednom místě jako vrtulník. Při použití této práce jako základu pro další vývoj tohoto letounu si myslím, že za několik let by mohla být celá koncepce použita v praxi i pro komerční použití. Pro masové využití je třeba zpracovat možnosti pro plně autonomní systém, který bude možné ovládat jednoduše pouhými příkazy či zadanými parametry. Dnešní možnosti jsou nekonečné, jenom je třeba je správně využít. Hlavní slabinou současného řešení je operační délka takového systému. Pokud potřebujeme mít vysokou vzletovou hmotnost např. pro transport balíčků první pomoci či nějakého vybavení, jsou tak kladeny vysoké nároky na pohonné jednotky a tím i na vysokou energetickou náročnost systému. Dalším bodem pro budoucí vývoj může být řešení napájení těchto systémů případně vývoj úspornějších pohonů a celkově všech komponent systému. Mezi výhody bych zařadil bezpečnost konstrukce. Ve srovnání s multicopterem je koncepce křídla bezpečnější z jednoho praktického důvodu. Když selžou motory u multicopteru, tak spadne na zem, pokud není nějakým způsobem vyřešena autorotace jako u vrtulníků. Pokud ovšem selžou motory u křídla, stále má dostatečnou plochu pro klouzavý let a pomocí funkcí fail-safe můžou v pořádku přistát bez větších poškození. Toto vidím jako obrovskou výhodu oproti jiným konstrukcím. Celkově bych konstrukci UAV typu křídlo zvláště pak s vertikálním vzletem doporučil k dalšímu vývoji.

# Poděkování

Rád bych poděkoval všem lidem, kteří se podíleli na vzniku této práce ať už dobrou radou, technickými poznámkami či jen kritikou a zhodnocením.

Zvláště bych rád poděkoval svému vedoucímu práce panu Ing. Františku Martincovi, CSc., který mě odborně vedl při této práci a směřoval mé myšlenky správným směrem.

Dále bych rád poděkoval mému kamarádovi Bc. Martinu Bičanovi, za spolupráci na celém projektu.

Mé díky také patří celé mé rodině za podporu a hlavně přítelkyni, slečně Bc. Evě Abendrothové za péči o mé zdraví a předcházení smrti hladem.

Děkuji Vám a velice si Vás vážím

## Seznam použité literatury

- [1] BIČAN, M. Konstrukce UAV typu křídlo, Diplomová práce, 2012
- [2] [http://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned\\_aerial\\_vehicle](http://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle) (10.4.2012)
- [3] <http://www.rcnoviny.cz/2010/10/elektronika-v-modelu-gyro/> (10.4.2012)
- [4] [http://kolmanl.wwwcity.cz/index.php?show=show\\_txt&alias=PPM#K%C3%B3dov%C3%A1n%C3%AD%20typu%20PPM](http://kolmanl.wwwcity.cz/index.php?show=show_txt&alias=PPM#K%C3%B3dov%C3%A1n%C3%AD%20typu%20PPM) (10. 4. 2012)
- [5] <http://www.hobbyking.com/> (10. 4. 2012)
- [6] <http://www.rcexplorer.se/projects/tricopter/tricopter.html> (10.4.2012)
- [7] <http://arduino.cc/> (10.4.2012)
- [8] <http://www.diydrones.com/> (10.4.2012)
- [9] <http://www.modelcam.cz/UAV/uav.html> (10.4.2012)
- [10] <http://www.eagletreesystems.com/> (10.4.2012)
- [11] <http://samokridla.webnode.cz/princip/> (10.4.2012)
- [12] <http://www.serva.cz/> (10.4.2012)
- [13] <http://www.rcnoviny.cz/2010/08/elektronika-v-modelu-serva/> (10.4.2012)
- [14] <http://jonatan.spse.pilsedu.cz/~mazanec/gyroskopy.htm> (10.4.2012)
- [15] <http://www.rc-eagleeye.cz/> (10.4.2012)
- [16] [http://pages.cs.wisc.edu/~bolo/rc/radio\\_types.html](http://pages.cs.wisc.edu/~bolo/rc/radio_types.html) (10.4.2012)
- [17] <http://www.mycoolrc.com/gyro/elevongyroinstall.html> (10.4.2012)
- [18] <http://www.kkmulticopter.com/> (10.4.2012)